

ماذا أعرف

المنشورات العربية

ماذا أعرف
رقم ٩

پول كوديږ

الكون

ترجمة
الدكتور خليل الجر

المنشورات العربية

«Que Sais-je» ?
Presses Universitaires de France

المنشورات العربية

المقدّمة

إن في عنوان هذا الكتاب التباساً ولا ريب . فالكون، حسب تحديد هذه الكلمة، يشمل كل ما هو موجود، ويمكن أن ندخل تحت هذا العنوان جميع مصنّفات مجموعة « ماذا أعرف ؟ » التي ظهرت والتي لم تظهر بعد . لكنّ المؤلّف عالم فلكيّ، والمقصود هنا هو الجزء الفلكيّ من الكون .

وفي نطاق علم الفلك هذا رأى المؤلّف نفسه منقاداً إلى الاختيار، لأن تاريخ ارتياد الكون، ومعارفنا المتعلّقة بالشمس وبالسيّارات واكتشافات علم الفلك الإشعاعي كانت موضوع مصنّفات عدّة ممتازة من هذه المجموعة نذكر منها على سبيل المثال : « الشمس » (رقم ٢٣٠) و « الشمس والأرض » (١٢٣٣) و « الطاقة الشمسيّة » (١٢٩٤) و «السيارات والتوابع » (٣٨٣) و « الخسوف والكسوف » (٩٤٠) و « المذنّبات » (١٢٣٦) و « الكازار » (١٢٦٧) و«تاريخ علم الفلك» (١٦٥) و« النسبيّة » (٣٧) و « علم الفلك الإشعاعي» (١١٨٢) .

ففي هذا المصنّف قصد المؤلّف أن يصف آفاق الكون البعيدة التي أحرزت معرفتها تقدماً مذهلاً في السنوات الخمسين الأخيرة، وما تزال تتقدم بخطى سريعة .

ولئن كان هذا الكتاب متواضعاً، فالمعلومات التي يوردها ما يزال قسم منها مجهولاً لدى الجمهور لأن علم الفلك يأتينا كلّ يوم بحصاد من الوثائق الجديدة، ولا نعرف علماً آخر على هذا القدر من حيويّة الشباب. والعالم الفلكيّ الذي يظلّ لبضع سنوات بعيداً عن الإنجازات الجديدة في هذا الحقل يصبح كالضائع في أكثر مجالاته.

ويحوي الكتاب في بعض فصوله، بالإضافة إلى وصف الحالة الحاضرة للكون في قسمه المعروف، بعض المعلومات البسيطة عن تطور الكواكب وأنظمة الكواكب. فقد أصبح اليوم ضرباً من ضروب المحال أن نفصل بين «علم الكون» و «علم نشأة الكون»، لأن الشعاعات الضوئية تنقل الينا صور الكوكبات في حقبات مختلفة، وتمتد الآن أمام أعيننا ستّة مليارات سنة من التطوّر على الأقلّ. وتأتي الصفحات الأخيرة عارضة المشكلات الكبرى لعلم الفلك في عصرنا الحاضر، عصر تمدّد الكون وعصر «نماذج» الأكوان، وهي مشكلات عالجتها في مصنّف خاصّ[1].

وأنا لم أخشَ، تمشّياً مع طريقة شائعة الاستعمال، أن أعود أكثر من مرّة إلى الموضوع ذاته، بل بالعكس، عالجت

---

(١) «تمدد الكون».

الشيء الواحد في فصول متعدّدة ، لكنّني كنت دائماً أُدخل معه عناصر جديدة وأنظر إليه من ناحية مختلفة [1] .

ويبدو لي أنه لا يجوز لأيّ إنسان مثقّف أن يجهل ما احتواه هذا الكتاب . فإلى جانب تصميم عام لبناء يزداد يوماً بعد يوم، ولا يشبه في شيء التصاميم التي قبلت بها الأجيال السابقة، يلمس فيه القارئ لمس اليد، ويستفيد من ذلك استفادة فلسفية كبرى، خاصيّة علم في أوج نموّه، وهي مزيج من الظاهرات والقوانين ترافقه محاولات لتفسيرها . وهذه التفسيرات تتعدّل كلّما ازدادت الظاهرات جلاء أو كلّما ظهر حدث جديد . أمّا ما تمّ اكتسابه من المعلومات فيبقى ، ومن السذاجة أن ننكر على علم الكون كلّ قيمة علميّة، ولكنّه من الخطل أن نعطي التفسيرات الحاليّة صفة نهائيّة .

والطبعات المتعاقبة للمصنّفات في علم الفلك خير دليل على هذا التطوّر المهيب وعلى خصب طريقتنا العلميّة .

---

(١) مما لا ريب فيه أن الفصل الأول أكثر الفصول تجريداً، وأملي أن لا يثبط ذلك همة القارئ لما فيه من جفاف لا بد منه في هذه المقدمات .

الفصل الأوّل

معلومات عامّة في طرائق البحث
ونظرة شاملة على الكون

وحدات المسافة. — لما كانت الأرض أكبر الأجسام الصلبة الموجودة في متناول الإنسان أصبح من الطبيعيّ أن تُستخدم أبعادها أساساً للقياسات المطلقة في المسافات الفلكيّة. ويكفي، لما نحن بصدده، أن نعلم أنّ الأرض لا تختلف كثيراً عن كرة طول شعاعها ٦٣٧٠ كلم وفي نظام السيّارات، تكون وحدة قياس الطول الملائمة «معدّل» المسافة (أ) بين الشمس والأرض وهي تبلغ ٢٣٥٠٠ مرّة طول الشعاع الأرضيّ. ويكفي أن نحفظ الرقم التقريبيّ أ = ١٥٠ مليون كلم، لكننا نسلّم اليوم بأنّ أ = ١٤٩٦٠٠٠٠٠ كلم

غير أن هذا الرقم أصبح غير ملائم بالنظر إلى بعد الكواكب الشاسع لذلك يستعمل علماء الفلك «الفرسخ النجميّ»، لكنّنا في هذا الكتاب سنستعمل «السنة الضوئيّة» (واختصارها س. ض.) لسهولة حفظ معناها، وهي المسافة الّتي يقطعها الضوء في سنة كاملة (٩٤٦٠ مليار كلم تقريباً أي ما يقرب من $١٠^{١٣}$ كلم، وهو رقم يجب حفظه) وتكون قيمة «الفرسخ النجميّ» ٣٫٢٦ س. ض. تقريباً

وقد أوصلتنا استكشافاتنا الحقيقيّة للكون، في الوقت الحاضر، إلى مسافة ستة مليارات من السنين الضوئيّة، والنظريّة وحدها تمكّننا من أن نتصور مسافات أبعد، مع ما تتضمّنه الاعتبارات النظريّة من مغامرة.

قياس المسافات. — إنّ الأساليب «الرياضيّة» لقياس المسافات لعلم الفلك هي من طبيعة القياسات في الجيوديزيا [١]. وفي كلتي الحالتين تعود القضيّة إلى اكتشاف تغيير اتّجاه جسم يُراقب من نقطتين تبعد الواحدة منهما عن الأُخرى أقصى درجة ممكنة من البعد. ففيما يتعلّق بالكواكب يراقب نجم مثلاً في مدى ستّة أشهر من نقطتين متقابلتين من مدار الأرض حول الشمس، فيكون طول «القاعدة» ٣٠٠ مليون كيلومتر. وهذا يكفي (بالنسبة إلى كواكب «خلفيّة» أبعد من ذلك بكثير) لملاحظة تغيّر ضئيل في موضع الجسم «القريب». لكنّ هذه الطريقة تفقد كلّ فعّاليّتها إذا لم يكن الكوكب موضوع الدراسة قريباً جداً. لان الانتقال الذي نرغب في قياسه سرعان ما يصبح داخل مدى أخطاء القياس على صفيحة التصوير. فالطريقة لا تعطي نتيجة مرضية بالنسبة إلى الكواكب التي تبعد عنّا أكثر من خمس مائة سنة ضوئيّة.

---

(١) علم يبحث في شكل الأرض وقياس أبعادها.

وتسمّى هذه الطريقة لقياس مدى الانتقال الدوريّ الظاهر للكواكب طريقة « اختلاف المنظر المثلّثاتي » . ولطرائق من الطبيعة ذاتها، مبنيّة على « الانتقال » الظاهر للصور، مدى أبعد بقليل من الطريقة الأولى . لكنّنا، لولا الطرائق « الفيزيائيّة » التي سنأتي على ذكرها، لكنّا لا نعرف عن الكون إلاّ الشيء القليل . غير أن هذه الطرائق الفيزيائيّة كانت تظل بدون قيمة لو لم تكن معايرة ومضبوطة من قبل الطرائق الرياضيّة التي تظلّ هكذا نقطة الانطلاق الأساسيّة، ولا يمكننا أن نعلّق أهميّة كبرى على نتائجها الأوليّة .

إنّ علم الفلك مدين بمعلومات بعيدة المدى لطريقة فيزيائية هي « الفوتومتريّة » (المضوائيّة) وهذا مبدؤها : لنفرض أننا نعرف « اللمعان المطلق » لكوكب، أي قوّة صبيبه الطاقيّة (بالكيلووطات مثلا . فالشمس تصبّ باستمرار ٤١٠ ^٢٣^ كلو) وأنّ ق عدد اصطلاحيّ يُدعى « القدر المطلق » الذي يمثّل هذه القوّة . فلنلاحظ الآن « القدر الظاهر » لهذا الكوكب، أي الطاقة التي نلتقطها على سطح الأرض على شاشة عاديّة ، ولنفرض أنّ قَ هي العدد (أي القدر الظاهر) الذي يمثّل هذا اللمعان في النظام الاصطلاحي للوحدات الذي استعملناه للقدر المطلق ق .

فمن الواضح أنّ المقارنة بين قَ و ق تعطينا مسافة الكوكب (شرط أن يكون الفضاء شفّافاً) لأنّ اللمعان الظاهر يتناقص بنسبة « مربّع » بعد ينبوع الضوء . ففي النّظام

« المستعمل » للأقدار يُعطي الفرق (ق' – ق) ، المسمّى « مقياس » المسافة، علماءَ الفلك المسافة المطلوبة . مثلاً : إذا كان المقياس ٥ تكون المسافة ٣٢٦ س . ض . وإذا كان المقياس ١٠ كانت المسافة ٣٢٦٠ س . ض .[١]

ولكي تأتي هذه الطريقة بنتيجة يجب على الأقلّ أن تكون لدينا معرفة سابقة باللمعان المطلق لبعض الكواكب التي يسهل تمييزها ورؤيتها عن مسافة ساشعة . ولحسن الحظّ يعرف علم الفلك كيف يميّز بعض النجوم « الجبّارة » (وهي مائة مرّة أكثر لمعاناً من الشمس) وبعض النجوم « فوق الجبّارة » (وهي ما يقرب من عشرة آلاف مرّة أكثر لمعاناً من الشمس) وهذه النجوم « المعيار » التي هي في دراسة السماء أشبه ما يكون بالمعالم والمنائر للبحارة تمكّن من معرفة مسافة الكوكبات التي توجد فيها .

ويمكن بعد ذلك تعيير اللمعان الاجماليّ لهذه الكوكبات واعتبارها « معايير » أقوى من المعيار الأوّل، وذلك عندما

---

(١) الصيغة العامة التي تستعمل اللوغاريتم العشري هي :

$$\text{لوغ م} = \frac{\text{ق}' - \text{ق}}{5} + 1$$

إذا كانت المسافة م بالفراسخ النجمية . أو

$$\text{لوغ م} = \frac{\text{ق}' - \text{ق}}{5} + 1{,}51$$

إذا كانت م بالسنين الضوئية .

يكون بعدها قد حال دون التفريق بين النجوم التي تؤلّفها، وعادت هي لا تبدو إلاّ لطخاً ضعيفة خافتة الضوء أو مجرّد نقط مضيئة. وقد استطاع علم الفلك أن يعيّر هكذا تدريجاً كواكب أكثر فأكثر لمعاناً ومكّنته طريقة القياس الضوئيّ هذه البسيطة، على ما فيها من دقّة في التطبيق، من أن يغوص في أعماق الفضاء مرحلة بعد مرحلة.

١. السرعات الموجّهيّة

يلجأ كثير من الوثائق الأساسيّة لمعرفة الكون إلى السرعات الموجهيّة. ومن المهمّ أن نفهم معنى السرعات الموجّهيّة فهماً جيداً ونعرف الصفات الرئيسية لمراقبتها.

فالنجوم، بالنسبة إلى مراقب ما تتحرّك «في الفضاء». وليس من الضروري، في هذا الكتاب الصغير الحجم، أن نوضح أكثر من ذلك. غير أنّ أكثر القرّاء لا يجهلون مدى الصعوبات الكامنة وراء الكلمات الموضوعة بين قوسين مزدوجين. فالسّرعة الموجّهيّة س م لكوكب ما هي مسقط سرعته الكليّة س على خطّ التصويب أ ش (شكل ١). وتعطينا دراسة طيف كوكب ما سرعته الموجّهيّة بالقيمة المطلقة، مثلاً بالكيلومترات في الثانية.

فإذا اقترب الكوكب منّا تحيد خطوط الطيف نحو الجهة البنفسجيّة من الطيف. ونلاحظ ذلك بوضعنا طيف ينبوع

ضوئي نحصل عليه من خلال الموشور ذاته ونعتبره مرجعاً نضعه إلى جانب طيف الكوكب .

أ
س م
س
ش
المراقب
الشكل ١ :

وإذا ابتعد الكوكب عنّا تحيد الخطوط نحو الجهة الحمراء من الطيف . وتزداد الأطوال الموجّهيّة وتنقص التواترات . وتخضع هذه الظاهرة المسمّاة أثر دوپلر فيزو لقانون بسيط . فالحيد $\Delta\lambda$ لخطّ طول موجته العاديّ λ يكون بحيث

$$\frac{\Delta \lambda}{\lambda} = \frac{\text{س م}}{\text{ن}}$$

وبتعبير عادي نقول إن الحيد « النسبيّ » لخطوط الطيف يساوي نسبة السرعة الموجّهيّة إلى سرعة الضوء (ن) .

فلنفرض كوكبا يسير في اتجاه المراقب بسرعة ٣٠٠ كلم في الثانية وهي سرعة تعادل ١٠٠٠ / ١ من سرعة الضوء ، فإنّ جميع خطوط طيفه تحيد نحو البنفسجي قدر جزء من ألف من طول موجتها . وهكذا فإنّ خطّ الهيدروجين يد β الواقع على λ = ٣٥, ٤٨٦١ أ° [1] في الطيف المرجع (طيف أنبوب هيدروجيني متألّق مثلاً) يبدو في طيف

---

(١) الأنغستروم أ° = ٠,٠٠٠١ ميكرون = ٠,٠٠٠٠٠٠٠١ سم .

الكوكب الموضوع بجانبه مقابل λ = ٤٨٥٦,٤٩ ويكون قدر حيده : – ١٤,٨٦ ْ .

ومن الواضح أن تحديد السرعات الموجهيّة يتعلّق بـ «تقزّح» الأطياف المستعملة . وهو في الحالات المؤاتية يظلّ دون ٠,٥ كلم في الثانية .

مجرّتنا . – إن أحد المراجع الرئيسيّة لمعارفنا الفلكيّة هو الكوكبة وهي تبدو لنا بمظهر المجرّة، وهي رقعة مستطيلة مضيئة قليلاً غير منتظمة أشبه ما تكون بنطاق يحيط بالسماء. وتُظهر فيها المناظير عدداً هائلاً من النجوم الدقيقة المزدحمة التي لا تفرّق بينها العين المجرّدة . ففي النصف الثاني من القرن الثامن عشر رأى فيها بعض علماء الفلك، عن طريق الحدس، لا شريطاً من النجوم لا كثافة له بل تراكماً عميقاً . ويعود الفضل في البرهان عن صحّة هذا الرأي (حوالي عام ١٨٠٠) عن طريق « مقاييس السّعة » إلى فلكيّ عبقريّ هو وليم هرشل . فأحصى هرشل النجوم بالنسبة إلى أقدارها، في بعض بقع من السماء، مبتدئاً بأكثر النجوم لمعاناً إلى أقلّها من النجوم التي استطاع رؤيتها . وفيما كانت النجوم اللمّاعة التي تُرى بالعين المجرّدة موزّعة في قبّة السماء بشيء من الانتظام، بيّنت مقاييس السعة أنّ النجوم الدقيقة تتزايد بنسبة قرب المنطقة موضوع الدرس من المجرّة . فهناك إذن « تكثّف » باتجاه المجرّة يتزايد كلّما كانت النجوم أقلّ ضياءً، وبالتالي أبعد مسافة . وهذا ما يقودنا إلى تصوّر

كومة هائلة من النجوم تجمع مليارات الكواكب ونوجد نحن في داخلها. وتشكّل الكواكب المتجمّعة تجمّعاً عميقاً لأعيننا حاجزاً مضيئاً باتجاهات مستوى هذه الكومة، وهذا الحاجز هو المجرّة. فالمجرّة هي إذن «حرف» الاسطوانة بالنسبة إلينا نحن الموجودين في الداخل. وقد أطلق اسم الـ «كوكبة» على هذا التجمّع الضخم المسطح المكوّن من النجوم، وتعتبر المجرّة نوعاً ما منظره الجانبيّ (أنظر ص ٣٦ – ٤٠).

وإذا نظرنا باتجاه خطوط «منحرفة» بالنسبة إلى المستوي الذي تمتد عليه الكوكبة (وهو المستوي المتوسّط للكوكبة) يخترق نظرنا طبقة من النجوم رقيقة نسبيّاً. والشمس في هذه الكوكبة نجم متوسّط في لمعانه وفي كتلته. أمّا الكواكب التي ترى بالعين المجرّدة، فهي قريبة منّا نسبيّاً وهي تحتل بقعة صغيرة حول الشمس، لكنّها صغيرة بالنسبة إلى «سماكة» قرص الكوكبة في جوارنا. لذلك نراها موزّعة بانتظام في السماء، فلا تدخل المنظوريّة في قرص الكوكبة في الحساب بالنسبة لها. وسندرس الكوكبة في الفصل الثاني. ونكتفي الآن بأن نقول إنّ الكتلة الكليّة للكوكبة تعادل مائتي مليار مرّة كتلة الشمس. أمّا قطرها فيبلغ ٨٠٠٠٠ سنة ضوئيّة؛ غير أن «طرف» مجموعة نجميّة لا يمكن تحديده بالضبط. فثمّة نجوم متشرّدة تبتعد عن المجموعة الرئيسيّة كما تتباعد البيوت في ضواحي مدينة كبيرة وتقلّ كثافتها حتّى تبلغ

الرّيف. فحدود المدينة اصطلاحيّة، لذلك علينا أن نضع حدوداً اصطلاحيّة للكوكبة.

والشمس في الكوكبة نجم هامشيّ يدور على مسافة ٣٠٠٠٠ س. ض. من المركز. وقرص الكوكبة في جوار الشمس قليل السماكة. وهو قد لا يتعدّى ١٠٠٠ س. ض.

وتبدو المنطقة المركزيّة للكوكبة بشكل انتفاخ صغير الحجم ما نزال نجهل أبعاده. وتدور الكوكبة كما يدور الدولاب حول قبّه المركزيّ، ويولّد هذا الدوران لولبات في مستوي الكوكبة الاستوائيّ، ودوران هذه اللولبات وقوّتها الزخميّة على درجة كبيرة من التعقّد.

المجموعة السكنيّة في الكون. ـ مهما أمعنّا بعداً في استكشاف أطراف الكون نرى «كوكبات» شبيهة بكوكبتنا.

وهذه الجزائر الصغيرة من المادّة التي تجمع كلّ واحدة منها مليارات النجوم والتي تختلف احجامها وأشكالها تشغل الأعماق الكونيّة في مواضع مختلفة. ويكمن سرّ استقلالها النسبي في بعد بعضها عن بعضها الآخر. ويقدّر معدّل المسافة التي تفصل بين كوكبتين بعشرة أقطار أكبرها حجماً. وبوسع تلسكوب جبل پالومار الكبير أن يصور مليارات عدّة من الكوكبات، فهذه عيّنة من عيّنات الكون لا يستهان بها، ولكن هل نستطيع أن نعتبرها عيّنة «مميّزة»؟ إنّه ليس في استكشاف الأقسام البعيدة (الذي ما يزال

سطحياً) للمنطقة المعروفة ما يمكّننا من أن نتوقّع تغيّراً ما في طبيعة هذا السكن . لذلك ينظر علماء الفلك إلى الكون بمجمله باعتباره « متجانس الأجزاء » .

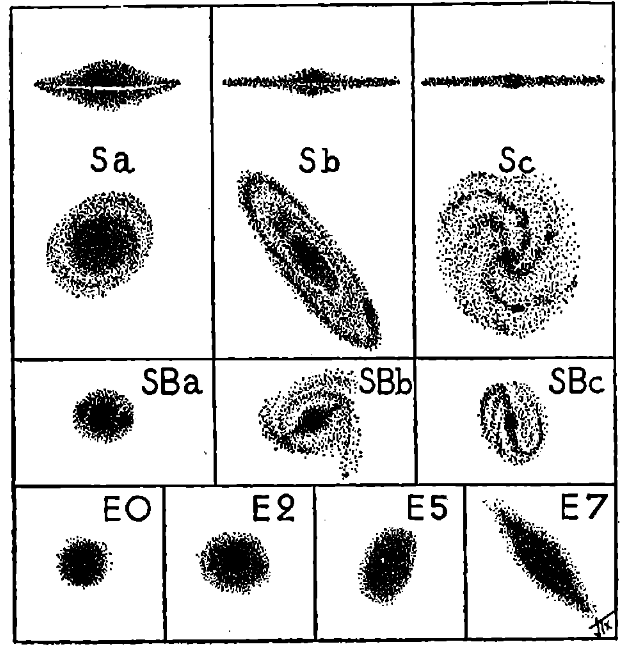
لكن التفاصيل تختلف اختلافاً كبيراً . فثمّة كوكبات ذات أشكال « غير منتظمة » وثمّة كوكبات « إهليلجيّة الشكل » تبدو فيها جميع درجات التسطيح من «الشكل الكرويّ » إلى الشكل المردنيّ، وكوكبات « حلزونيّة » تشبه « شموساً » من الأسهم الناريّة ولكنها تبدو لاعيننا في جميع الاتجاهات وفي جميع درجات الانتشار .

وثمّة كوكبات قزمة وكوكبات عملاقة، وتتفاوت درجات لمعانها بنسبة ١ إلى ١٠٠٠٠، ولعلّ التفاوت أبعد من هذا القدر لأنّ اكتشاف الكوكبات القزمة ليس بالأمر اليسير .

وكوكبتنا لولبيّة الشكل عملاقة لكنّها ليست فريدة في نوعها ونحن نعرف عدداً كبيراً من الكوكبات التي تفوقها وأولاها جارتها مسّيه ٣١ من اندروميدا (المرأة المسلسلة) التي يبلغ قطرها ضعفي قطر كوكبتنا .

ويبدو في الكوكبات ميل كبير نحو التجمّع، وكثيراً ما ترى اثنتين اثنتين أو ثلاثاً ثلاثاً أو خمساً خمساً أو ستّاً ستّاً . ثم نلاحظ مجموعات من عشرين جسم تقريباً من نوع « الكدس المحلّيّ » الذي تنتمي إليه كوكبتنا وكوكبة مسّيه ٣١ التي أتينا على ذكرها . وأخيراً كشف لنا مؤخّراً تصوير

السّماء إلى القدر العشرين وفرة « الأكداس الكبيرة » التي تجمع الكوكبات بالمئات والآلاف حتى وبعشرات الآلاف ، ونحن نعرف أكثر من مائة كدس من هذه الأكداس . وفي هذه الحالة يجدر بنا أن نتساءل عمّا إذا كانت ثمّة كوكبات مستقلّة حرّة بين الأكداس، أو أن الأكداس، بضواحيها المترامية الأطراف القليلة عدد السكّان، لا يتصل بعضها ببعضها الآخر . وعندئذ يصبح بإمكاننا القول إنّ الكون



الشكل ٢ : الأنواع الرئيسية للكوكبات

تعمره « أكداس » من الكوكبات (لا كوكبات مستقلّة) يتألّف كلّ كدس منها من تجمّع مركزيّ محتشد هو « نواة » تمركزت فيها أكثر الكوكبات كثافة .

قد يكون في وجهة النظر هذه بعض التطرّف . غير أنه يبدو محتملاً أن تكون الكوكبات المتجمّعة في أكداس أكثر عدداً من الكوكبات « المتشرّدة » (سواء أكانت هذه الأخيرة قد نشأت مستقلّة في « المجال » أو أنها أفلتت من كدس نتيجة لسرعة كبيرة) .

الموادّ الكونيّة . — ظلّ العلماء إلى عام ١٩٣٠ يعتقدون أن الفضاء الموجود بين النجوم فارغ . أو بالأحرى كانوا يعتقدون أن الذرّات والدقائق الّتي قد تكون منتشرة في هذا الفراغ لا أثر لها مطلقاً في المراقبات ولا تشكّل إلا نسبة جدّ ضئيلة من المادّة المتجمّعة في النجوم .

ومنذ عام ١٩٣٠ ما زالت البراهين على وجود موادّ بين الكواكب تتراكم ، وآثارها السيّئة في قياسات الكوكبات تتوضّح . فالمستوي المجريّ مليء بغيوم من الغازات الغباريّة ، وتصطفّ هذه الغيوم بمحاذاة لولبات الكوكبة فتوضح حدودها . ويقوى امتصاص النور ، الذي هو بالدرجة الأولى عمل الغبار الدقيق الذي يحمله الغاز ، في اتجاهات المستوي المجريّ . ويقدّر «معدّل» ضعف الضوء بـ« قدرين » كلّما قطع مسافة فرسخين نجميّين . وهذا يعني أنّه كلّما قطع مسافة ٣٠٠٠ سنة ضوئيّة في المستوي المجريّ يفقد

٨٤ ٪ من طاقته الأوليّة، وبعد قطع مسافة ٦٠٠٠ س. ض. لا يبقى إلاّ ٢،٥ ٪ من الضوء الأوّليّ. وبعد مسافة ٩٠ ٠٠٠ س. ض. لا يبقى إلاّ ٠،٤ ٪ من الفوتونات، وبتعبير آخر نعود لا نرى شيئاً يذكر.

والغيوم الغازيّة كالنجوم تتألّف من الهيدروجين في الدرجة الاولى، ثم يأتي الهيليوم في الدرجة الثانية. غير أن ذرّاته لا تبلغ جزءاً من عشرين جزء من غازات الهيدروجين، أمّا العناصر الأُخرى فلا تبلغ كتلتها « الكليّة » ١ ٪ من كتلتي هذين الغازين الخفيفين. ونعتبر حاليّاً أنّ معدّل تركيب النجوم بالنسبة إلى كتلتها هو كما يلي: من ٦٠ إلى ٧٠ ٪ من الهيدروجين، حسب أعمارها ومن ٣٠ إلى ٤٠ ٪ من الهيليوم الذي تزداد كميّته على حساب الهيدروجين كلّما شاخ النجم، ومن ١ إلى ٣ ٪ من العناصر الثقيلة حسب النجوم. ونستطيع القول إجمالاً إن الكون يحوي مقابل ١٠ ٠٠٠ ذرّة من الهيدروجين من ١٠٠٠ إلى ١٥ ٠٠٠ ذرّة من الهيليوم ومن ذرّتين إلى ٣ ذرّات أثقل منها.

وليست أرضنا التي فقدت أكثر غازاتها الخفيفة (هذا إذا سلّمنا بأنها حصلت عليها أوّلاً) إلاّ عيّنة شاذّة من عيّنات المادّة الكليّة.

وقد جاءَ التحليل الحديث العهد للدقائق الأوليّة في « الأشعّة الكونيّة » مؤكّداً أسبقية الهيدروجين. ففيها (بالكتلة) ٨٠ ٪ من البروتونات وأقلّ من ٢٠ ٪ من

الهليونات و ١ ٪ من النوى الثقيلة . وإذا كانت الأشعة الكونية تمثّل المادّة الموجودة بين الكواكب تمثيلاً صحيحاً فنستطيع الإشارة إلى أن النجوم تحوي ، من الهيدروجين ، كما تحوى الشمس وأقلّ ممـا يحويه منه الغاز الكونيّ واكثر مما يحويه الهيليوم (هذا بقدر ما تمكـّننا تحليلاتنا الحاضرة من معرفته) . غير أن هذه النتيجة تبدو منطقيـّة لأن النجوم تستمد طاقتها الضوئيـّة والحراريـّة من تحوّل هيدروجينها إلى هيليوم كما سنبيـّن ذلك . فمن الطبيعيّ أن نجد فيها الهيدروجين بكميّة أقلّ والهيليوم بكمّيـّة أكثر ممّا نجده في الغازات التي عنها نشأت . غير أنّ التحوّل يحصل في المناطق العميقة من النجوم . وأكثر علماء الفلك واثقون من أنّ التغيـّر الداخليّ في التركيب الكيميائي لا يظهر في الجو (الذي نستطيع تحليله) وذلك لعدم وجود مزْج فعـّال في المادة النجميـّة . ويتغيـّر التركيب الكيميائي مع العمق لكنـّه يظلّ على حاله في السطح ، في النجوم الطبيعيـّة على الأقل الهادئة هدوءاً كافياً والمعتدلة الدوران .

الغبار الماصّ المسمّى « دُخاناً » . — كما أن الهواء الذي نتنشـّقه يحمل غباراً كذلك الغبار الكونيّ يحوى دقائق صلبة تبدو كتلتها الكليـّة لا تتعدّى جزءاً من خمسين جزء من كتلة الغاز . (ويبدو من المحتمل أن تنشأ هذه الدقائق وتتكاثر في الغاز عبر الزّمن نتيجة للتصادم بين الذرّات والتصادم بين الدقائق والذرّات) . غير أن لهذه الدقائق

قوّة انتشار عظيمة ولها بالتالي القدرة على امتصاص الضوء والحؤول دون انتشاره. وإليها يُعزى « الدور الرئيسيّ » في الامتصاص في داخل الكوكبة. أمّا قطر الدقائق الماصّة الفعّالة فلا يتعدّى ٠,١ µ (µ = ميكرون أو جزء من الألف من الملّيمتر). ولعلّ غيمة كونيّة تحوي مثلاً ١٠ ذرّات من الهيدروجين في السنتيمتر المكعّب لا تحوي إلاّ جزيئاً واحداً من هذا « الدخان » في الهكتومتر المكعّب.

طاقة النّجوم. — النجوم حاشدات ذريّة ما تزال تعمل باستمرار منذ زمن بعيد في أكثر الأحيان. وقد نشأت تفاعلات حراريّة نوويّة في المناطق العميقة حيث تبلغ الحرارة من ١٠ ملايين إلى ٢٠ مليون درجة، وما تزال ناشطة باستمرار. وقد بدأت التفاعلات عندما أصبحت الحرارة كافية لتحريك النوى الذرّيّة ودفعها بسرعة كافية لتحملها على الاصطدام بقوّة تمكّن هذه النوى من التغلّب على تنافرها الطبيعيّ (المسمّى التنافر الكُولوميّ الناجم عن شحناتها الكهربائيّة الواحدة وهي شحنات موجبة) وحملها على الاتحاد.

وثمّة دوران من التفاعل النوويّ ممكنان والدوران يعملان في الواقع.

الدور البدائيّ المسمّى دور « پروتون — پروتون » (پ، پ) يسيطر في حال درجات الحرارة الداخليّة الأقلّ ارتفاعاً وهو يشبه التفاعل الذي يحدث في القنبلة الهيدروجينيّة،

وفيه يقوى إنتاج الطاقة بنسبة الأُسّ ٤ للحرارة المحليّة (ح ٤).

أمّا الدور الثاني من التفاعلات فيسمّى دور الكربون أو الكربون والأزوت (ك، ن). ويطلق عليه أيضاً دور بِث، إكراماً لبِث الذي حدّد تفاصيله منذ عام ١٩٣٨. وتجدر الملاحظة بأن هذا التاريخ يسبق بسبع سنوات انفجار أوّل قنبلة ذريّة كما تجدر الملاحظة أيضاً بأن دور بِث أقدم من دور (پ، پ) في فكرته لأن علماء الفيزياء لم يتثبّتوا من إنتاج التفاعلين الأوّل والثالث للدور (پ،پ) إلاّ عام ١٩٥١.

ويحصر الدور (ك، ن) عمل الكربون والأزوت بالحفز لا غير؛ وتظلّ النتيجة الأخيرة تحوّل الهيدروجين إلى هيليوم. ويفرض الدور (ك، ن)، للانطلاق انطلاقاً فعّالاً، درجات من الحرارة أرفع من الدرجات التي يفرضها الدور (پ، پ)، غير أنه عندما يصبح عاملا، يفوق إنتاجه إنتاج الدور الآخر لأن غزارته تتناسب مع أُسّ حراريّ مرتفع جدّاً (قد يبلغ ح ١٨).

وبالنتيجة تشعّ النجوم الحارّة وفقاً لدور بِث، أمّا النجوم الباردة فتشعّ وفقاً للدور (پ، پ). والشمس قريبة من الشروط التي يتبادل فيها الدوران سيطرتها؛ فقد دلّت الدراسات المستندة إلى أكثر المعطيات المختبريّة دقّة على أن الدور (پ، پ) ينتج ٩٩ ٪ على الأقل من

إشعاعها . ويقع الحدّ الفاصل في النجوم التي تزيد حرارة طيفها على حرارة طيف الشمس . وتبدو الحرارة المركزية في الشمس قريبة من ١٤ مليون درجة .

٢ . عُمر الارض

يمثل عمر الأرض دوراً بالغ الأهميّة في دراسة الكون، لأنه يعطينا حدّاً أدنى لعمر الكون . وكلّ نظريّة كونيّة لا تستطيع البرهان على وجود الكون خلال ماض « لا يقلّ » عن عمر الأرض تضمحلّ بطبيعة الحال. بل إن كلّ نظرية لها قيمتها لا بد من أن تقودنا إلى مدد تتغدّى بكثير عمر الأرض لانّنا لا نتصور أن كرتنا الصغيرة الصلبة، الواقعة داخل نظام محكم الصنع، داخل بدوره ضمن لولبات كوكبة تتعلّق بمجموعة محليّة من الكوكبات، هي معاصرة لبداية نموّ هذه البنيات الهائلة المتشابكة . لكنّنا نستطيع تصوّر تطوّر من العامّ إلى الخاص قطّع كتل الكون الماديّة الكبرى وقسّمها ومزجها ثم أعاد تقسيمها بما فيه الكفاية قبل أن تتنظّم الحطام ونفايات العمليّات الأساسيّة في نطاقها الضيق .

ومهما يكن من أمر، فإن عمر الأرض سيكون نقطة ثابتة دقيقة وقيّمة في وسط التقديرات الزمنيّة التي تتعدّاه طولاً دون أن تبلغ دقّته . ونحن في الواقع نقصد بعمر الأرض عمر القشرة الأرضيّة وبتعبير أدقّ الزمن الذي انقضى منذ تكوّن القارّات الأُولى التي طفت على وجه الصّهارة الأصليّة .

ويعتقد علماء الفلك أنّه لم ينقض وقت طويل بين ظهور الأرض ككوكب منعزل مستقلّ وهادئ نسبيّاً، ومؤلّف من كتلة الموادّ التي نعرفها فيه، وظهور القارّات الأولى. ونستطيع أن نستعين بصورة التكوّن السريع للخبث على سطح معدن مصهور عندما نتوقّف عن تسخينه. ومهما تكن آليّة تجمّع الموادّ الأرضيّة، فإن هذا التجمّع لا يمكن أن يكون قد تمّ بدون إطلاق حرارة قادرة على صهرها (هذا إذا سلّمنا بأن هذه المواد لم تكن في الأصل مصهورة أو متبخّرة).

ودون أن نبذل جهداً كبيراً من التخيّل أو أن نتعرّض إلى الخطإ نستطيع أن نتصوّر الكتلة الارضيّة في حالة الانصهار وهي تفقد حرارتها السطحيّة بسرعة في الفضاء. فتنشأ عن هذا التبرّد جزائر صغيرة على السطح عندما تنخفض الحرارة إلى ما تحت ١٥٠٠ درجة. وتتكوّن هذه الجزائر من أكثر العناصر المعدنيّة خفّة (ثقلها النوعي دون ٣) وهي التي ستكوّن فيما بعد صخورنا الأرضية[١]. ويأتي يوم تتكوّن فيه قشرة عازلة متواصلة تستطيع الكتلة الرئيسيّة من الموادّ أن تحتفظ وراءها بحرارتها وبخصائصها السائلة في جوار المركز.

صحيح أن هذه القشرة الصلبة ستتعرّض لتقلّبات لا

---

(١) نستطيع القول بطريقة مجملة أننا أمام قشرة (٦٠ كلم) من سيليكات الألومينيوم طافية على طبقة سميكة (٢٩٠٠ كلم) من سيليكات المغنيزيوم تحيط بالنواة الأرضية السائلة.

تحصى طيلة المليارات من السنين التي ستعبرها قبل ظهور الإنسان، ومن الممكن جدّاً أن نعثر فيها على قطعة « أصليّة » لم تؤثّر فيها التقلّبات الأساسيّة. غير أن العلم يعتقد أن باستطاعته تحديد عمر لهذه القشرة تحديداً دقيقاً. وهذه العمليّة تمر بمراحل عدّة.

١. عمر أقدم المعادن المعروفة. — إن الرصاص، وهو معدن شائع، يتألف من مزيج أربعة نظائر ذات الكتل ٢٠٤ و ٢٠٦ و ٢٠٧ و ٢٠٨ نسبها في الرصاص العادي ١,٣٦ ٪ و ٢٥,٣ ٪ و ٢١,٢ ٪ و ٥٢,١ ٪.

لا يتكون الرصاص ٢٠٤ في القشرة الأرضية وليس ناجماً عن أي نشاط إشعاعي معروف وهو موجود على الأرض منذ أن تكونت قشرتها (ومن الممكن أن يكون نتيجة لنشاط إشعاعي سريع تم قبل ظهور الأرض). لكن « النظائر » الثلاثة الأخرى ناجمة عن نشاطات إشعاعية معروفة وهي ما تزال تعمل الآن، فالرصاص ٢٠٦ يحصل عن تحول الأورانيوم ٢٣٨، والرصاص ٢٠٧ عن تحول الأورانيوم ٢٣٥، والرصاص ٢٠٨ عن تحول الثوريوم ٢٣٢. ونحن نعلم سرعات النشاطات الإشعاعية هذه وهي سرعات ثابتة ولدينا دلائل على أنها لم تتغير خلال العصور. وهي تشكل مقاييس زمنية مستقلة تحدد عمر المعادن المحللة.

فعينة من الغرانيت مثلا تحتوي على الأورانيوم، فيمكن تحليلها من معرفة ما تحويه الآن من أورانيوم ٢٣٨ و ٢٣٥ ومن رصاص ٢٠٦ و ٢٠٧ وتدل « نسبتا الرصاص » يو ٢٣٨/ر٢٠٦ و يو ٢٣٥/ر ٢٠٧ على عمر المعدن لأنهما تطورا (وما يزالان يتطوران) خلال العصور ويمكنان من الرجوع إلى العهد الذي فيه احتلت العينة مكانها.

ويجدر بنا طبعاً أن نحسب حساباً للرصاصين ٢٠٦ و ٢٠٧ اللذين ربما كانا موجودين في المعدن عندما احتل مكانه وقبل أن ينتج نشاطه الإشعاعي المحلي الهادئ الرصاصين ٢٠٦ و ٢٠٧ اللذين تدل كميتهما على طول الزمن

الذي مر عليهما . لكن مقدار الرصاص ٢٠٤ شاهد صادق على كميات الرصاص « العادي » التي يمكن أن تكون موجودة في العينة موضوع الدرس (لأن كمية الرصاص ٢٠٤ تظل ثابتة لا تتغير) . وتكفي معرفة التركيب « النظيري » للرصاص العادي في مختلف أزمنة الماضي (لقد ذكرنا في البدء التركيب النظيري الحالي) لتمكيننا من معرفة كميات الرصاص الفضولي . وسنرى بعد قليل مدى الأهمية الكبرى التي نعلقها على معرفتنا لنظائر «الغالينات» (كبريتور الرصاص الطبيعي) في مختلف العصور الهلكية .

وفوق ذلك ، إننا عندما نكون أمام صخور « قديمة » — وهي التي تهمنا هنا بالدرجة الأولى — نلاحظ أن كمية الرصاص « المولد » تفوق آثار الرصاص الأولي إلى درجة أننا نستطيع ، في تقديرات أولى تقريبية ، أن نهمل هذه الآثار كي نعود فيما بعد إلى إعادة النظر في تقديراتنا .

فما هي إذن نتائج التحليلات العديدة لعينات أخذت من جميع أنحاء العالم وفي المواضع التي يفترض أنها أكثرها قدماً من غيرها ؟

في أمريكا يحتفظ بالرقم القياسي في القدم « بغماتيت » جنوبي شرقي منيتوبا الذي يعود عهده إلى ٢,٤ مليار سنة .

وفي إفريقيا يدل بغماتيت روديسيا الجنوبية (بيكيتا) على ٢,٦٥ مليار سنة .

وترتبط بهذه النتيجة نتيجة أخرى تزيد في معلوماتنا . فقد أخذت عينات بغماتيت روديسيا من مستوى غربي أقدم منها . وفي صخور جيرية غرافيتية مرتبطة بهذا المستوى عثر عام ١٩٣٥ على بنيات تدل على وجود « أشنات » . فهذه الطبقة الأرضية لم تكن موجودة منذ ٢,٧ مليار سنة وحسب بل كانت « الحياة » قد ظهرت فيها منذ ذلك العهد بأشكال معقدة . فشروط الحرارة كانت إذن شبيهة بالشروط التي نعرفها اليوم ونستطيع أن نستنتج من ذلك أن « الإشعاع الشمسي ما يزال ثابتاً عمليا منذ ثلاثة مليارات سنة على الأقل » . وتبدو الآن المدة التي تطورت فيها الأنواع الحية أطول بكثير مما كان يظن في الماضي . ومنذ عهد قريب نشر علماء مختبر فيزياء الأرض في جامعة تورنتو لائحة بخمسة واربعين معدناً قديماً من معادن إفريقيا مكنت الطاقات الإشعاعية والتركيب النظيري من تحديد أعمارها .

وهذه نماذج من أقدمها عهداً :

غالينة بوندو (الكونغو البلجيكية) ٢,٧٩ مليار سنة ± ٠,٠٩

غالينة بربرتن (إفريقيا الجنوبية) ٢,٨٦ مليار سنة ± ٠,٠٦

موزانيت سيرا ليونه ٢,٩٣ مليار سنة ± ٠,٢٠

وفي أواخر عام ١٩٥٤ كانت هذه العينة الأخيرة حائزة على الرقم القياسي العالمي وهو يقرب من ٣ مليارات سنة . ويدل مدى الخطإ الذي يمكن أن يحصل في هذه التقديرات أننا نستطيع الاعتماد عليها إلى حد ٥٪ من قيمتها. ومطابقة هذه النتائج مع نتائج حصل عليها في مختبرات أخرى وتواصل السلسلة في الأعمار التي أمكن تحديدها من مليار سنة إلى ثلاثة مليارات سنة يدلان على أن هذه النتائج ليست نتائج منعزلة لا يمكن الاعتماد عليها .

وقد أخذ أقدم هذه العينات من مرتفعات قارية اعتبرت قديمة العهد منذ زمن بعيد .

٢ . الحدّ الأعلى لعمر القشرة الأرضيّة . — لنفرض أن كل كمية الرصاص الموجودة حالياً في الصخور قد تكونت، منذ أن وجدت القشرة، على حساب الأورانيوم ٢٣٥ . فبإهمالنا هذا للرصاص ٢٠٧ الأساسي، نكون قد حصلنا على نسبة مرتفعة جداً . ونسبة الرصاص هذا تعطينا عمراً طويلا جداً، وتوصلنا التقديرات المبنية على أمتن الأسس إلى ٥,٤ مليار سنة .

وهكذا نكون قد حصرنا عمر القشرة الأرضية بين حدين، أعلى وأدنى ، لا يختلفان إلا بعامل ينقص عن ٢ لأن لدينا

٢,٩ < عمر القشرة < ٥,٤ (مليار سنة)

وسنحاول الآن الحصول على قيمة دقيقة بين هذين الحدين .

٣ . عمر قشرة الارض بالاستناد إلى معادن الرصاص . —
لنفرض أن ت هي عمر القشرة وأن ١ (واحد)، س، ص تمثل الكميات النسبية للنظائر ٢٠٤ و٢٠٦ و٢٠٧ في الرصاص الأولي . فالمجهولات هي ت وس وص . فنأخذ الرصاص ٢٠٤ الذي لا يتبدل عبر الزمن كمرجع (أي كوحدة) لقياس كمية النظيرين ٢٠٦ و ٢٠٧، وهذه الكمية تتغير مع

الزمن وهي تتعلق بسرعة النشاطات الإشعاعية المعروفة وبكمية الأورانيوم الموجود في المنطقة الأرضية موضوع الدرس.

ومعادن الرصاص التي نكتشفها في مناطق مختلفة الأعمار (غير أن أعمارها معروفة حق المعرفة) تشهد بازدياد كمية النظائر. فلرصاص العصور ما قبل الكمبري والكمبري والأول والثاني والثالث تركيب يدل على تطور يتفق من الآراء التي عرضناها. وقد بين العالم الملكي آرثر هولمز عام ١٩٤٦ كيف أن مجموعة من الغالينات المختلفة الأعمار تمكن من تحديد المجهولات الثلاثة ت وس وص.

وترتكز نتائج هولمز الممتازة إلى ما لا يزيد عن ثلاثين قطعة من الغالينة حللها بعناء فائق.

وقد توصل مؤخراً علماء مختبر تورنتو إلى طريقة سريعة وحللوا مئات من العينات فحصلوا على النتائج التالية :

ت = ٤,٥ مليار سنة، س = ٩,٤ ، ص = ١٠,٣ .

(في عصرنا الحاضر يوجد في الرصاص العادي رصاص ٢٠٦ = ١٨,٧ ورصاص ٢٠٧ = ١٥,٦ بالنسبة إلى الرصاص ٢٠٤ مأخوذاً كوحدة. وتوافق هذه النتائج نتائج الصفحة ٢٦ حيث لم نعتبر الرصاص ٢٠٤ كوحدة بل بالنسبة إلى وفرته الكتلية ١,٣٦ ٪).

وبالنتيجة تكون القشرة الأرضية النهائية قد تكوّنت منذ ٤،٥ مليار سنة تقريباً.

ولا يبدو أن عمر الأرض، بوصفها جرماً سماوياً، يعود إلى ما قبل ذلك بكثير، وقد يبلغ ٤،٧ مليار سنة.

ويوصلنا تحليل أقدم النيازك إلى نتائج مشابهة. فنستطيع أن نحدّد قدم تكوّن نظام السيارات بخمسة مليارات سنة على الأكثر.

الفصل الثاني

كوكبتنا

المجرّة . — المجرّة سحابة بيضاء اللون غير منتظمة تخترق السماء بمحاذاة دائرتها الكبرى تقريباً . ومنذ مراقبتها بواسطة منظار غاليليو عام ١٦١٠ تبيّن أن هذا المظهر ناجم عن تراكم عدد كبير من النجوم على طول هذا النطاق . وعند الابتعاد عن المجرّة باتّجاه تعامد مستواها أي باتجاه قطبيها يمكّن المنظار من ملاحظة تناقص تدريجي لعدد النجوم في الحقل .

ومنذ منتصف القرن الثامن عشر فهم عدد من الفلاسفة (ومن بينهم عمانوئيل كانت) والعلماء أنّ المجرّة ليست سوى مظهر لنظام هائل من النجوم تغوص فيه الشمس . فلسنا إذن أمام نطاق لا سماكة له أو أمام طبقة شريطيّة من النجوم بل أمام كدس عمقي ضخم . وقد أُطلق اسم « الكوكبة » على هذا النظام المسطّح القرصيّ الشكل من النجوم والذي تشكّل الشمس جزءاً من أجزائه . وما المجرّة إلاّ حدّه أو منظره الجانبيّ يُرى من داخل المجموعة .

وفي اتّجاهات تبتعد ابتعاداً كافياً عن مستوي المجرّة يخترق النظر طبقة قليلة الكثافة من النجوم كلّها قريبة نسبيّاً من الشمس وبين صورها مسافات كبيرة بحيث يملأ قعر السماء

المظلم مجال النظر كلّه . ولكنّنا عندما ننظر في المجرّة يملأ مجال نظرنا كدس من النقط اللمّاعة المتقاربة ويخال لنا أن التجمّع العمقيّ « للصور الدقيقة » يحجب عنّا قعر السماء . وفي الواقع ، ما يوقف النظر في المجرّة ليس سوى ظاهرات الامتصاص . فالضوء ينتشر عن طريق « الأدخنة » أعني الدقائق الصلبة الصغيرة القطر (لا يتعدّى قطرها ٠,١ μ) التي تحملها سحابات الغاز المنتشر في الفضاء الفسيح .

١ . الكوكبة وإحصاءات النجوم

أول عالم فلكي حاول تحديد بنية الكوكبة عن طريق إحصاء النجوم هو وليم هرشل . وقد قامت قياساته التي تابعها خلال عشرات السنين حوالي عام ١٨٠٠ على تعداد النجوم بالنسبة إلى أقدارها في بقع معينة من السماء وقد ذهب بها إلى أقصى حدود إدراك تلسكوبه (فتحته ٤٨ سم ومدى إدراكه يقرب من القدر ١٤) . فاستكشف هكذا ٣٤٠٠ بقعة موزعة توزيعاً جيداً في السماء التي كان يستطيع مراقبتها . وقد تابع ابنه جون عمله فاستكشف في مدينة الكاب ١٨٠٠ بقعة من السماء الجنوبية .

	عدد النجوم في وحدة البقعة			التجمع المجري
	ق	و	ب	ب/ق
حتى ق ف = ٨	٨	٥	٣	٢,٧
– = ١٢	٤٣٠	٣٢٠	١٣٨	٣,١
– = ١٦	١٥ ٠٠٠	٦ ٠٠٠	٦ ٠٠٠	٥,٥
– = ٢٠	٢٨٠ ٠٠٠	٦٤ ٠٠٠	٢١ ٠٠٠	١٣,٣

ق = خطوط العرض القريبة (< ٢٠°) .
و = خطوط العرض المتوسطة .
ب = خطوط العرض البعيدة (< ٤٢°) .
ق ف = القدر الفوتوغرافي .

وقد وضح وليم هرشل « التجمع المجري » وبين أن النجوم التي لا ترى بالعين المجردة تكثر في « درجة مربعة » مثلا بنسبة قرب « خط العرض » المجري لهذا المربع . وبقدر ما تكون النجوم موضوع الدرس صغيرة بقدر ما يبدو هذا التجمع كبيراً . والجدول المرفق (الحديث) الذي قسمت فيه السماء إلى ثلاث مناطق « متعادلة » والذي تقابل فيه الأرقام النسبية للنجوم التي يفوق لمعانها القدر المذكور في الهامش، يمثل نتائج هرشل ويعممها .

وقد سلم هرشل أيضاً بأن الكثافة النجمية، بالنسبة إلى قدر معين، لا تتوقف إلا على « خط الطول المجري ». وقد بدت له الفوارق بالنسبة إلى خطوط الطول ضئيلة . وكل شيء يجري، في مدى إدراك منظاره، كما لو كانت الشمس واقعة على مقربة من مركز التجمع . ولنسرع في الإشارة إلى أن هذا الوهم ظل مستمراً حتى عام ١٩١٨، ما دامت الإحصاءات المصدر الوحيد للمعلومات . وسنرى السبب في ذلك .

الإحصاءات خلال القرن العشرين . — في غضون السنوات العشرين الأولى من هذا القرن قام العلماء بإحصاءات دقيقة كانت نوعاً ما امتداداً لقياسات هرشل ودارت حول مستندات غنيّة وضعها استعمال التصوير الفوتوغرافي وخارطة السّماء ودخول التلسكوبات الضخمة في حيّز الاستعمال وفي متناول الباحثين . وكان ذلك في العهد الذي بيّن فيه كبْتين ومختبره الشهير للحسابات في غرونِنغه (هولّندا) مدى الإفادة التي تحصل من تمركز المستندات والتوسّع في استخدامها .

وكانت النتائج ممتازة في الحقل « الحركيّ » وكشف بنوع خاصّ عن لاتماثلات غريبة في حركة النجوم الواقعة في جوارنا . ولم تجد هذه الغرائب حلاّ مرضيّاً إلاّ بعد

اكتشاف بنية كوكبتنا، ولم يكن هذا الاكتشاف نتيجة الإحصاءات.

والواقع أن الإحصاءات ظلّت تحملنا على الاعتقاد بأنّ كثافة النجوم في الفضاء تتضاءل بشكل مطّرد في جميع الاتجاهات حول الشمس كما لو كانت الشمس موجودة في منطقة تبلغ فيها الكثافة أقصى حدّها (والحقيقة، كما سنرى، هي عكس ذلك تقريباً، فنحن في منطقة فقيرة بالنّجوم).

والسبب الرئيسي في فشل الإحصاءات يعود إلى وجود موادّ ماصّة في «الفراغ» الكائن بين النجوم والذي أشرنا إليه فيما مضى، وهذه الموادّ موزّعة بشكل غير منتظم. فالامتصاص يقلل لمعان النجوم ويحمل على الاعتقاد بأنها أبعد مما هي عليه، إذا كان على ضوئها أن يسير مسافة طويلة في الضّباب أو أن يخترق صدفة سديماً كثيفاً.

وليس التناقص الظاهر لعدد النّجوم في جميع الاتّجاهات إلاّ أثراً من آثار الضّباب. ولم تعرف الآثار القويّة للامتصاص معرفة تامّة وتقدّر وتُصحّح إلاّ منذ عام ١٩٣٠. ولسوء الحظ يبدو الغمام كثيفاً بدرجة خاصّة في الاتجاهات الأكثر أهميّة (كاتجاه مركز الكوكبة مثلاً).

وللإحصاءات التي تُطبّق بدون تمييز على جميع أصناف النجوم آفة أخرى مبطلة، فهي لا تقيم حساباً للاختلاف الذاتيّ الكبير بين درجات اللمعان النجميّة. فثمّة نجوم قزمة يقلّ لمعانها مليون مرّة عن لمعان الشمس ونجوم عملاقة يفوق

لمعانها مليون مرّة لمعان الشمس . وقد يكون نجم ما ذو قدر ظاهر « معيّن » وليست لدينا عنه أيّة معلومات، قزماً قريباً منّا أو جبّاراً بعيداً عنّا كل البعد . وهكذا يتسرّب الخطأ إلى أساس الإحصاءات المبنيّة دون تمييز على القدر الظاهر وحده بسبب هذا التشتّت الفادح للمعان المطلق . وزد على ذلك أن العلماء لم يتوصلوا قطّ إلى معرفة « التواتر » النسبيّ في الفضاء للنجوم ذات الطاقات المتفاوتة في اللمعان. وممّا يزيد في القضيّة تعقّداً التعرّف الحديث لنماذج عدّة من « التجمّعات النجميّة » (اثنين على الأقلّ) خاصّة إذا امتزجت النماذج كما هي الحال في جوارنا . وممّا لا شك فيه أنّ العمالقة الكبرى نادرة الوجود، لكنّ الأقزام الصغرى (التي لا تدركها العين إذا لم تكن قريبة منّا) هل هي واسعة الانتشار (على ما أظنّ) أم هي نادرة أيضاً بدورها عندما يصبح اللمعان المقصود ضئيلا ؟ إن النقاش حول هذه القضية ما يزال قائماً .

ومن هنا يظهر الضعف الداخليّ للإحصاءات العامّة . ولكيّ نذهب بعيداً في الكون، علينا أن نختار الموضوعات ونأخذ التي لها أقصى حدّ من اللمعان الذاتيّ . والواقع أن أكثر القياسات دقّة لم يمكنّا لا من اكتشاف تنظيم الكوكبة ومعرفة مدى أبعادها والمحلّ الجانبيّ الذي تحتلّه الشمس فيها. وسنأتي، من ثم، على وصف الطريقة التي مكّنتنا من الحصول على هذه المعلومات الأساسية .

٢ . الأكداس الكرويّة ومركز الكوكبة
(بحوث هارلو شابلي)

إننا نعرف منذ زمن بعيد ما يقرب من مائة كدس نجميّ كرويّ الشكل تقريباً، تتجمّع النجوم فيها بكثرة حول المركز . وفي الصور الفوتوغرافيّة تتماس صور النجوم وتتراكب في وسط الكدس ولا يمكن عدّها إلاّ على بعض المسافة من المركز . وقد أحصي هكذا في كل كدس ما يقرب من خمسين ألف نجم محيطيّ . وهذه الأكداس، فوق ذلك، بعيدة جداً والنجوم المحصاة كلّها عملاقة . أمّا القزمة فعددها يزيد على ذلك . وتبلغ كتلة هذا الكدس ما يقرب من 10^{6} شمس (أي كتلة مليون شمس كشمسنا) غير أن الكوكبة مجموعة نجميّة اكثر عدداً من ذلك بكثير وتُعدّ نجومها بالمليارات (وسنرى أننا نستطيع الوصول إلى مئات المليارات) . فليس إذن من شكّ في أن الأكداس الكرويّة المجريّة تخضع لجاذبيّة كوكبتنا القويّة، فهي تدور حول مركزها مثلما تدور الأرض حول الشمس . والبرهان الإحصائيّ على هذه العلاقة هو أنّنا نجد العدد ذاته من الأكداس شماليّ المجرّة وجنوبيّها، وبتعبير آخر نقول إن المستوي المجريّ هو مستوي تماثل بالنسبة إلى النظام المؤلّف من الأكداس الكرويّة المائة . غير أنّ هذه الأكداس موزّعة توزيعاً غريباً في قبّة السماء، فهي تتجمّع من جهة صورة القوس . فنجد ثلاثين منها بالقرب من هذه الصورة، أمّا الباقية

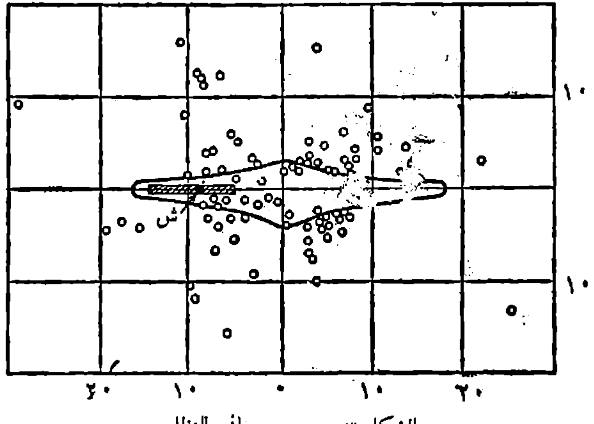
فترى (ما عدا بعض الشواذّ القليلة) في النصف السماويّ الذي يقع في قبّته. وبتعبير آخر نستطيع من الشمس أن نرى جميع الأكداس من ناحية واحدة باتّجاه الرّامي.

النتيجة . — يجب أن يكون مركز الكوكبة الذي تدور حوله الأكداس واقعاً في اتّجاه القوس وبعيداً جدّاً عن الشمس لأنّنا على حافّة نظام هذه الأكداس بحيث نراها جميعها من جهة هذا المركز (أُنظر الشكلين ٣ و ٤). وعندما اقترح العالم الفلكي شابلي هذه النتيجة عام ١٩١٨ أضاف إليها قيماً عدديّة. ولهذه الغاية كان قد حدّد من جبل ويلسن مسافة الأكداس الكروي[illegible] [illegible]ائق جديدة ذات مستقبل زاهر سنأتي الآن على و[illegible]ها.

RR الشلياق : — RR الشلياق نجوم بيضاء متغيرة وعملاقة يزيد لمعانها مائة مرة تقريباً عن لمعان الشمس وهي تمرّ بتغيّرات سريعة لكنّها دوريّة. أمّا مدّة التغير فتقرب من ١٢ ساعة (وهي على كل حال أقل من يوم). ولهذا التغيّر طريقة خاصّة، فيزيد اللمعان بسرعة ثم يعقبه عود بطيء إلى اللمعان السابق. وقد تمكّن شابلي من تعيين RR الشلياق في عدد من الأكداس وتحديد بعدها عن طريق القياس الضوئي (أنظر الفصل الأول) لأن القدر المطلق لهذه النجوم المعايير معروف. (ق = ٠٫٣)

وقد مكّنه ذلك من تعيير النجوم التي تبلغ أقصى حدّ من اللمعان في الأكداس (وهي عمالقة كبيرة حمراء) ومن استخدامها بدورها كمعايير للحصول على مسافة أكداس أبعد.

وأخيراً استعان شاپلي، في دراسة الأكداس غير الواضحة، وهي أبعدها، باللمعان الكلّي للكدس، مستنداً في ذلك على نموذجه — وكان تصنيف الأكداس التي يُعرف بعدُها قد كشف له عن قليل من الفوارق النموذجية بين الأكداس.

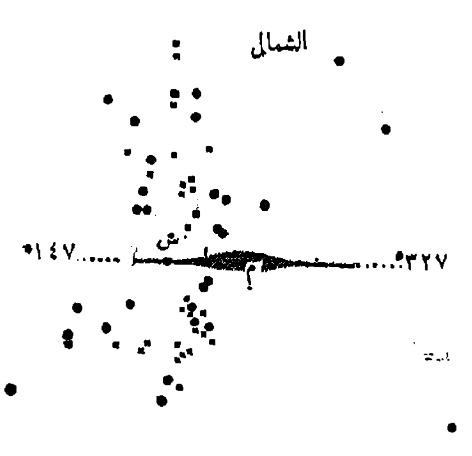


الشكل ٣ : رسم بياني للنظام

توزيع الأكداس الكروية حول القرص المجري (المسافة بالفراسخ النجمية والفرسخ النجمي = ٣٢٦٠ س. ض). والمنطقة المخططة التي توجد فيها الشمس ش تمثل المجال الذي تصل إليه ملاحظاتنا العادية في المستوي المجري.

والحاصل أنّ شاپلي توصّل إلى الإستناد إلى مسافات ستّين

كدس لتعيين توزيعها الحقيقي في الفضاء. والشكل الذي رسمه يدل على هذا التوزيع بصورة واضحة (الشكلان ٣ و ٤). وقد أدخلت فيما بعد بعض الإصلاحات على الاحجام التي اقترحها شاپلي، وذلك بعد اكتشاف الامتصاصات البينجيميّة، لكن أساس نتائجه ظل قائماً.



الشكل ٤ : قطع مجرتنا

قذف الأكداس الكروية المشهورة (•) والنجوم الشاردة البعيدة المدروسة (×) على مستوي معامد للمستوي المجري ومار بالشمس (ش) والمركز (م).

١ً . يقع مركز الكوكبة في اتجاه الشلياق عند خطّ الطول ٣٢٧° (الذي يعتبر الآن أصلاً).

٢ً . تبلغ المسافة بين الشمس وهذا المركز ٣٠٠٠٠ سنة ضوئية .

٣ً . تمتد الكوكبة في مستويها الرئيسيّ على مسافة ١٠٠٠٠٠ سنة ضوئية .

٤ً . يشكّل مجموع الأكداس الكرويّة نظاماً كروي الشكل مشترك المركز مع الكوكبة .

وبتعبير آخر تشكل أكداسنا الكرويّة كرة تتمركز حول نواة الكوكبة ولا يقلّ طول قطر هذه الكرة عن ١٥٠٠٠٠ سنة ضوئية .

وبعد نشر هذه النتائج انتبه علماء الفلك إلى أن الظواهر كان من شأنها أن ترشد منذ زمن بعيد إلى مركز الكوكبة . فليست المجرّة في صورة الرّامي غنيّة النجوم بشكل خاصّ وكثيفة ومعقّدة وحسب لكنّ في هذه المنطقة أشياء بعيدة وغريبة كالأكداس الكروية، كما رأينا، والنجوم الجديدة والسدُم المشرقة والمظلمة وRR الشلياق الحرّة (أي التي لا تدخل في الأكداس الكرويّة)، وتلك النجوم ذات الجوّ المنتشر انتشاراً واسعاً والتي أطلق عليها خطأ اسم «السّدم السيّاريّة» (ونحن نعرف منها الآن أكثر من ١٠٠٠ نجم).

RR باده (١٩٥٠) . — اكتشف باده أنّ نواة الكوكبات تتألّف من مجموعات سكنيّة، يقال لها المجموعة ٢، أكثر نجومها لمعاناً حمراء اللّون . ومن ناحية أخرى فإن هذه النواة تقع

وراء غمام كثيف لا تخترقه بكميّة لا يستهان بها إلاّ الأشعة الحمراء. ولكي يتوصّل باده إلى إبراز نواة كوكبتنا أخضع للتحليل مجموعة من الصور الفوتوغرافيّة للرّامي أخذها بالنور الأحمر بواسطة تلسكوب جبل ويلسن البالغ قطر عدسته ٢,٥٠ م. فأحصى في الدرجة المربّعة الواحدة أكثر من ١٠٠٠ نجم متغيّر أكثرها من نوع RR الشلياق. وما يلفت النظر هو تراكمها عندما تبلغ القدر الظاهر ق = ١٧,٥. وتبيّن دراسة الاحمرار أنّ الامتصاص يبلغ في هذا الاتجاه ٢,٨ من الأقدار. فعلينا إذن أن نأخذ القدر المصحّح قَ = ١٧,٥ – ٢,٨ = ١٤,٧. ولما كان القدر المطلق لهذه الكواكب ق = ٠,٣ فيكون معيار بعدها (قَ – ق) حينئذ ١٥ وهو ما يوافق مسافة ٣٣ سنة ضوئيّة تقريباً.

٣. الحسبان « الحركيّ »

السّمت. – بيّن كَپتين منذ عام ١٩٠٤ أن النجوم في جوارنا (بقطع النظر عن حركة الشمس باتجاه «السمت» الواقع على مقربة من النسر الواقع) لا تنتقل في الفضاء « وفقاً للمصادفة » بل تشكّل « مجريين » في اتّجاهين مفضّلين. وقد اقترح كارل شڤارتسشيلد تفسيراً موفّقاً لهذين المجريين. فالسّرعات الموجّهيّة للنجوم قويّة في اتّجاه معيّن من الفضاء أكثر منها قوّة في أيّ اتّجاه آخر. ويقع هذا الاتجاه المفضّل « في مستوي المجرّة » وينتهي، من ناحية، إلى خطّ الطول القريب من ٣٢٥° (السّمت).

ويلاحظ أن السمت ليس إلا مركز الكوكبة الذي عيّنه شابلي ومعنى ذلك واضح، فللنجوم سرعات خاصّة تتأثر بالجذب القويّ من قبل النواة المجريّة، فتكون حركتها أكثر سرعة باتّجاه هذه النواة.

ولم يكن مجريا كپتين إلاّ حالة خاصّة من حالات هذه الظاهرة ناجمة عن تجمّع خاصّ للمعطيات. وإذا ما أردنا أن نعثر على مجريين شبيهين بمجريي كپتين فما علينا إلاّ أن نجمع النجوم التي تتّجه نحو نصف الكرة السماويّة التي يكون سمتها قمّة من ناحية، ومن ناحية أخرى النجوم التي تسير في الاتّجاه المعاكس، وعندئذ يكون المجريان باتجاه معاكس بالنسبة إلى اتجاه السمت.

المجرى اللامتماثل. — لقد قامت فيما بعد عراقيل جديدة عندما تعلّق الأمر بنجوم ذات سرعة كبيرة أو بأجرام بعيدة. ونسمّي نجوماً ذات سرعة كبيرة النجوم التي تفوق سرعتها ١٠٠ كيلومتر في الثانية بقطع النظر عن حركة الشمس نحو السمت. وتسير جميع هذه النجوم باتجاه نصف الكرة السماويّة الذي تقع قمّته في النقطة من المجرّة الواقعة على خط الطول ٢٣٥°. وكذلك للأكداس الكرويّة في جملتها سرعة كبيرة جداً (قريبة من ٢٠٠ كلم ث) بالاتجاه ذاته، أي خط الطول ٢٣٥°.

هذا هو الاتجاه الذي أطلق عليه اسم «المجرى اللامتماثل»

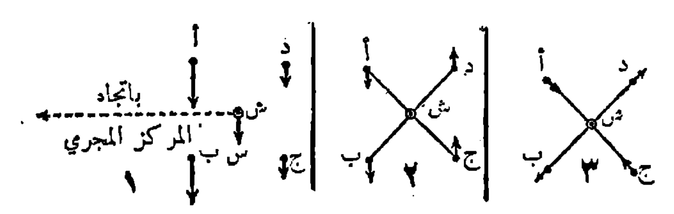
والذي ظلّ معناه غامضاً حتّى اكتشاف الدوران المجريّ الذي حلّ المشكلة. وقد لاحظ القارئ، بدون شكّ، أن اتجاه هذا المجرى معامد لاتجاه السمت، وبتعبير آخر أن المجرى اللاامتماثل ينتهي إلى ٩٠° تقريباً من مركز الكوكبة (٣٢٥° = ٢٣٥° + ٩٠°).

دوران الكوكبة. — كان شكل الكوكبة المسطّح جدّاً يجعل دورانها العام حول محور معامد لمستواها أمراً بعيد الاحتمال. وقد عُرف، من ناحية أخرى، منذ عام ١٩٢٤، كما سنبيّن ذلك فيما بعد، أنها تنتمي إلى أسرة الكوكبات اللولبيّة. والمطياف يدلّنا على أن الكوكبات اللولبيّة تدور (أثر دوپلر - فيزو).

وإذا كان قانون دوران النجوم حول المركز يشبه قانون دوران السيّارات حول الشمس يكون من الممكن إبراز التفاوت في السرعة بين نجوم واقعة على مسافات متفاوتة من المركز. فبالنسبة إلى السيّارات تزداد مدّة الدوران بازدياد بعدها عن الشمس (القانون الثالث من قوانين كِبلر أ٣ / د٢ = ثابتة) وتتناقص سرعة السير على المدار بازدياد البعد أيضاً (وفقاً للصيغة س٢ : : $\frac{١}{م}$).

وإذا كانت النجوم تخضع لقوانين من هذا النوع (وهذا أمر تجعله كتلة النواة المجريّة الهائلة قريب الاحتمال) تكون سرعة النجوم التي هي أقرب إلى المركز من الشمس أكبر

من سرعة الشمس، وسرعة النجوم التي هي أبعد منها عن ذلك المركز أصغر من سرعتها. فبالنسبة إلى الشمس تكون الكواكب البعيدة بعداً كافياً تسير بسرعات كالسرعات التي يعبّر عنها الشكل ٥ . ومن الممكن إبراز هذا اللاتماثل الحركيّ بين الأرباع الأربعة لمحيط دائرة المستوي المجرّيّ، خاصّة عن طريق السّرعات الموجّهيّة .



الشكل ٥ : الدوران التفاضلي

للنجمين أ و ب القريبين من المركز المجري سرعة دوران تفوق سرعة الشمس (س) وللنجمين ج و د اللذين‌هما أبعد من الشمس عن المركزسرعة أقل من سرعتها. الرسم ٢ يظهر الفرق بين هاتين السرعتين بالنسبة الى الشمس باعتبارها ثابتة. ويدل الرسم ٣ على السرعات الموجهية اللاّمتماثلة الناجمة عن ذلك بالنسبة إلى أ ب ج د .

وقد مكّنت الدراسات النظريّة التي قام بها لندوبلاد ثم الطرائق التي اقترحها أورت عام ١٩٢٧ من إبراز هذا الدوران التفاضليّ منذ عام ١٩٢٨ . وتثبت المراقبة صحّة هذه النظرية وتأتي بالنتائج التالية (الحاليّة) :

١ً. اتجاه المركز ، خطّ الطول ٣٢٧° .

٢ً . المسافة بين الشمس والمركز : ٣٣٠٠٠ سنة ضوئية تقريباً .

٣ً . سرعة الشمس: ٢٥٠ كلم في ثانية باتجاه خط الطول ٥٧° . وتكمل الشمس دورتها خلال ٢٥٠ مليون سنة (السنة الكبرى) .

٤ً . إن تغيّر السرعة الزاويّة للحركة في جوار الشمس على مسافة ٣٠٠٠ سنة ضوئية منها هو بحيث تكمل النجوم الواقعة شعاعيّاً في الكوكبة زاوية نصف قطريّة أكثر منه أو أقلّ خلال ١٥٠ مليون سنة .

وبتعبير آخر يبدو التفكّك والمزج سريعين في داخل الكوكبة . فالشمس تكمل أربع دورات خلال مليار سنة بينما يكمل كدس، يبعد عنها ٢٠٠٠ س . ض . نحو المركز، خمس دورات ولا يكمل كدس يبعد ٣٠٠٠٠ س . ض عن المركز إلاّ ثلاث دورات فقط (بشكل التقريب) . لكننا سنرى أن قانون الدوران هذا يتغير في المناطق المركزيّة.

٤ . العودة إلى المجرى اللامتماثل (حوالي ٢٣٥°) .

يبدو إذن أن النجوم السريعة والأكداس الكرويّة تسير بالاتجاه المعاكس للنقطة (٥٧°) التي يحمل دوران الشمس هذا الكوكب باتجاهها . ويبين كبر السرعة النسبيّة لنظام الأكداس الكروي بالنسبة إلى الشمس أن هذا النظام لا يشترك عمليّاً بدوران الكوكبة .

أما النجوم التي يُقال إنها « سريعة » فهي ليست في الواقع سوى « زواحف » تتركها الشمس وراءها في أثرها . وهذا ما يفسّر كون سرعات تفوق ١٠٠ كلم ث لا تلاحظ « نحو الأمام » بالنسبة إلى الشمس . ذلك أن السرعة المسمّاة سرعة وفق القطع المكافئ والكافية لانتزاع سيّار من كوكبه والقذف به نحو اللانهاية لا تختلف عن السرعة وفق المدار الدائري إلاّ بمعامل قدره $\sqrt{٢}$. فإذا ضربنا سرعة الشمس البالغة ٢٥٠ بـ ١,٤ نحصل على ٣٥٠، أي على زيادة ١٠٠ . والحال أنّه لا يوجد نجم تفوق سرعته سرعة الشمس ١٠٠ كلم في الثانية دون أن يُطرد . وبالعكس فإن السرعة الطرحيّة (في الاتّجاه المعاكس) التي تفوق ١٠٠ تبقى بدون أي مفعول من هذا النوع .

الامتصاصات في داخل الكوكبة .— تكاثرت البراهين منذ عام ١٩٣٠ عن وجود مواد (من غازات وغبار) منتشرة داخل الكوكبة . ومنذ زمن بعيد لوحظت في المجرة سدُم متفشّية، مضيئة أو مظلمة وحواجز غير شفّافة ومناطق خالية من النجوم البعيدة . كما أنّه لم تُعدم دلائل الامتصاص على مسيرات صافية في الظاهر (خطوط امتصاصات يقال لها « بيننجميّة » ناجمة عن الغازات البيننجميّة، واحمرار الأجرام البعيدة) . ولكن ما ظلّ موضع الشكّ زمنا طويلاً هو عمومية وجود هذه الموادّ ومدى آثارها .

ومنذ أن علمنا أن الكوكبات اللولبيّة منها وغير اللولبيّة

هي مجموعات تقع وراء حدود كوكبتنا أصبح إحصاؤها من نوع خاصّ. فاجمالاً لا نجدها في داخل خطوط العرض القريبة. فالمنطقة الكائنة بين خطوط العرض ± ٢٠° تسمّى لهذا السبب «مناطق خلوّ» وهي تبيّن أن سحابة من الموادّ الماصّة تنتشر في المستوي المجريّ كلّه. وهذه الطبقة المسطحة لا تعيق كثيراً المراقبة باتجاه خطوط العرض البعيدة لكنّها تصدّ الأشعّة الضوئيّة التي لا تسير في هذا الضباب باتجاه خطوط العرض القريبة إلا على مسافة لا يمكن أن تكون طويلة، ولا تستطيع أن تخترق الضباب إلاّ بعد خطوط العرض ± ٢٠° في ما عدا بعض الحالات الشاذّة (داخل النوافذ الصافية). أمّا في اتجاه المركز المجريّ حيث الغبار أكثر كثافة والطبقة أكثر سماكة فالامتصاص أقوى مما هو عليه في الاتجاه المعاكس. وقد بيّن ترمپلر عام ١٩٣٠ أن الامتصاص يفقد الكدس «قدراً» واحداً كلّما سار نوره مسافة ٤٠٠٠ سنة ضوئية عبر المجرّة.

ونقدّر اليوم أنّ امتصاصاً يعادل ضعفي هذا التقدير (قدران لمسافة ٤٠٠٠ س. ض.) ليس أمراً نادراً. وهذا لا يمثّل مع ذلك إلاّ «معدّلاً». فثمّة اتّجاهات صافية واتجاهات كثيفة الضّباب. ففي اتّجاه مركز المجرّة يزداد الامتصاص بشكل ملحوظ. وليس من السهل أن نرسم في اتّجاهات المجرّة خريطة الامتصاصات استناداً الى احمرار النجوم وانطفائها.

فالاحمرار يدلّ على أنّ الإشعاعات ذات الموجة الطويلة λ تخضع للامتصاص أقل ممّا تخضع له الاشعاعات القصيرة (فوق البنفسجيّة والبنفسجيّة والزرقاء). ويبدو أن الانتشار يكون بنسبة ١/λ ويجعل هذا القانون من جسيمات لا تتعدّى ١,٣٠ μ (مسمّاة دخاناً) ماصّات فعّالة.

μ = ميكرون = ٠,٠٠٠١ ملم.

وبالنتيجة، نستطيع القول إن إنطفاء النور في المستوي المجرّيّ يعني أننا لا نرى شيئاً في هذا المستوي (ما عدا بعض الحالات الشاذّة) على مسافة تزيد على ٨٠٠٠ س. ض. فيصبح البحث عن الأجزاء البعيدة في المجرّة بواسطة الضوء وحده (بالمعنى الدقيق لهذه الكلمة) أمراً مستحيلاً. وسنرى أنّ الإشعاعات ذات الموجة الطويلة التي لا تذهب ضحيّة هذا الامتصاص تمدّنا بمعلومات غير منتظرة.

٥. كميّة الموادّ المنتشرة وتوزيعها.

قدّر أورْت الكميّة «الكليّة» للمادة الموجودة في الفضاء بجوار الشمس عن طريق دراسة أعظام مركّبات السرعات النجميّة المعامدة للمستوي المجريّ، فوجد ١٠ × ٦^-٢٤ غرام في السنتيمتر المكعّب. وتشكّل النجوم ثلثي هذه الكميّة، فيبقى ٢ × ١٠^-١٠ غر في السم^٣ للموادّ المنتشرة، أي معدّل ذرّة واحدة تقريباً من الهيدروجين في السنتيمتر المكعّب. فالهيدروجين يشكّل العنصر الأساسي

في الفضاء البيننجميّ، وتبلغ ذرّاته عشرين ضعفاً من ذرّات الهيليوم. أمّا العناصر الباقية كلّها من ذرّات وجزيئات وغبار فلا تشكّل إلا ٢ ٪ من الكتلة بجملتها. وتثبت الغازات وجودها في الفضاء البيننجميّ بامتصاصها الانتقائي لبعض الإشعاعات الخاصّة. وهكذا فاننا نجد في طيف بعض النجوم البعيدة خطوط امتصاص تسمّى «بيننجميّة» وتمكّن من التحليل الكمّيّ والكيفيّ للغاز البيننجميّ.

غير أن هذه الامتصاصات الانتقائيّة، في جملتها، قليلة الفعّاليّة. فما يفقده الضوء في الفضاء ناجم في الدرجة الأُولى عن امتصاصات عامّة وعن انتشار جميع الإشعاعات بواسطة حواجز صلبة صغيرة. وقد رأينا أن حجم هذه الحواجز لا يتعدّى بضعة أعشار الميكرون. وهذا الغبار، وهو العامل الرئيسي لعدم شفّافيّة الجوّ البيننجميّ، هو من الفعّاليّة بحيث تكفي كميّة ضئيلة منه لتفسير الظاهرات التي نلاحظها. وتقدّر كميّة الدخان الماصّ بجزء من مائة جزء من كميّة الغاز المنتشر، وهذا ما لا يمثل سوى ٢ × ١٠$^{-٢٦}$ غر / سم^{٣}. ويتوزّع الغاز والدّخان توزيعاً فوضويّاً، وكلّ شعاع امتصاص في اتّجاه معيّن يبدو في أكثر الأحيان متعدداً، فتكون إذن ثمّة غيوم منفصلة مختلفة السرعات. ويبدو الغاز والغبار ممزوجين مزجاً كاملاً، فالغاز يحمل الغبار الذي يلوّثه. والمستوي المجريّ مليء بهذه الغيوم بشكل سماء مرقّطة. أما بين الغيوم فالكثافة تكاد لا تكون موجودة

أما داخل الغيوم فهي تمثّل ١٠ ذرّات من الهيدروجين في السنتيمتر المكعّب (وأكثر من هذا القدر في الغيوم الكثيفة والمرئيّة) . ويبلغ قطر غيمة متوسّطة ٣٠ سنة ضوئيّة وتبلغ كتلتها مئة مرّة كتلة الشمس . أما المسافة بين غيمة وغيمة فتبلغ على ما يبدو عشرة أضعاف هذه المسافة وتتراوح سرعة الغيمة بين ٥ كلم و١٠ كلم في الثانية . وهذه السرعة الخفيفة تفسّر تمركز المواد المنتشرة ضمن خطوط الطول القريبة . وتتجمّع الغيوم أحياناً في مجموعات أوسع وتبلغ كثافتها مائة ضعف الكثافة التي ذكرنا (في منطقتي الثور والحوّاء مثلاً) . غير أنّ لتوزيع الغيوم أو توزيع مجموعاتها تنظيماً أدق من ذلك . وهذه الغيوم هي التي ترسم لولبات كوكبتنا. وقد بدأت البنية اللولبيّة لهذه الكوكبة تتوضّح منذ عام ١٩٥٠ .

الغازات واللولبات . — عندما درس وليم باده كوكبة مسّيه ٣١ الشلياق اللولبيّة لاحظ أن اللولبات تحتوي على نجوم عملاقة كبيرة وغيوم مشرقة، غير أنّ اللولبة الغباريّة تتابع سيرها في داخل النواة ويمكن ملاحظتها، بيد أنّها تخلو من العمالقة الكبيرة، وهذا يبيّن أن للولبات صفة أوّليّة وأن العمالقة الكبيرة تتكوّن فيها . ولوجود النجوم المرتفعة الحرارة (الصفراء) داخل اللولبات نتائج مهمّة . فكلّ الهيدروجين البينجمي تقريباً في حالة « المحايدة » و « البرودة » (تبلغ درجة الحرارة الحركيّة ٥٠° مطلقة أي أنها دون — ٢٠٠° سنتيغراد) . ولكن عندما يوجد نجم مرتفع الحرارة، مجموعاً

مع غيمة، تؤيّن إشعاعاته الفوقبنفسجيّة الهيدروجين المجاور بكليّته إلى مسافة تبلغ ١٠٠ إلى ٥٠٠ سنة ضوئيّة. وتتعدّى الحرارة الحركيّة في داخل المنطقة المؤيَّنة عادةً ١٠٠٠٠°. لكنّ هذه الغيوم المؤيَّنة تصبح عندئذ مشرقة لأن استرجاع الإلكترونات من قبل بعض البروتونات يحدث إشعاعات مشرقة معروفة. وقد أعطت هذه الغيوم المشرقة المجموعة مع نجوم مرتفعة الحرارة من نوعي أ و ب وليم مورغن فكرة معاينة لولبات كوكبتنا بواسطة تراصفها. وهكذا أثبت مورغن عام ١٩٥١ وجود ثلاثة فروع موحّدة المركز. وتقع الشمس على الحافة الداخليّة من اللولبة الوسطى، ويمرّ فرع آخر على مقربة من مركز الكوكبة أمّا اللولبة الثالثة فتقع بعيداً نحو الخارج. وتنحني هذه اللولبات مقدار ٢٥° على دوائر مرسومة حول المركز المجرّيّ وتسير النجوم بشكل يجعل اللولبات «تلتفّ» على ذاتها و«تتبع» الأذرع دوران النواة. واتّجاه الدوران هذا عامّ عند اللولبات (شكل ٦).

٦. علم الفلك الإشعاعيّ
اللولبات ونواة الكوكبة.

أثبت أُوْرت وفرقته الهولنديّة صحّة هذه النتائج وعمّمها منذ عام ١٩٥٢ بفضل بثّ غير منتظر للهيدروجين البارد.

الإشعاع «الممنوع» للهيدروجين المحايد على موجة

طولها ٢١ سم . — الهيدروجين البارد عديم الإشعاع . وكان من المؤسف حقاً لأوّل وهلة أن لا نستطيع الكشف عن العنصر الأساسيّ للكون عندما لا يستفيد من أسباب خارجيّة لإثارته . لكنّ ڤان دِه هُولْست قد بيّن عام ١٩٤٤ أنّنا نستطيع أن نعرف مسبّقاً بثّاً لا يمكننا مراقبته في المختبر . فالإلكترون الذي يدور حول نواة الهيدروجين المحايد يستطيع أن يقلب عفويّاً محور دورانه سواء أكانت الدورانات ذات المحاور المتوازية للإلكترون والبروتون في اتّجاه واحد أو في اتّجاهين معاكسين . ويحدث الانقلاب عفويّاً بمعدّل مرّة كلّ أحد عشر مليون سنة ، ويوافق تغيّر الطاقة فوتوناً طول موجته ٢١ سم . لكن الفضاء من الاتّساع وذرّات الهيدروجين من الكثرة بحيث تصبح ملاحظة الطاقة الكليّة ممكنة . وقد لوحظت الموجة الكونيّة التي طولها ٢١ سم عام ١٩٥١ في ثلاثة بلدان في آن واحد (الولايات المتّحدة وهولّندا وأُستراليا) .

ولما كانت اللولبات المختلفة تدور بسرعات مختلفة ، يحصل في بثّها بموجة طولها ٢١ سم حيد قليل لبعضها بالنسبة إلى بعضها الآخر ، وقد جاءت دراسة المنظر الجانبيّ للأشعّة في ليدن بنتائج مثمرة . وهي لم تثبت صحّة النتائج التي توصّل اليها مورغن فحسب بل عمّمتها إلى حدّ بعيد ومكّنت من متابعة اللولبة الخارجيّة على مسافة ٦٠٠٠٠ سنة ضوئيّة إلى نقطة تقابل الشمس تقريباً بالنسبة إلى مركز

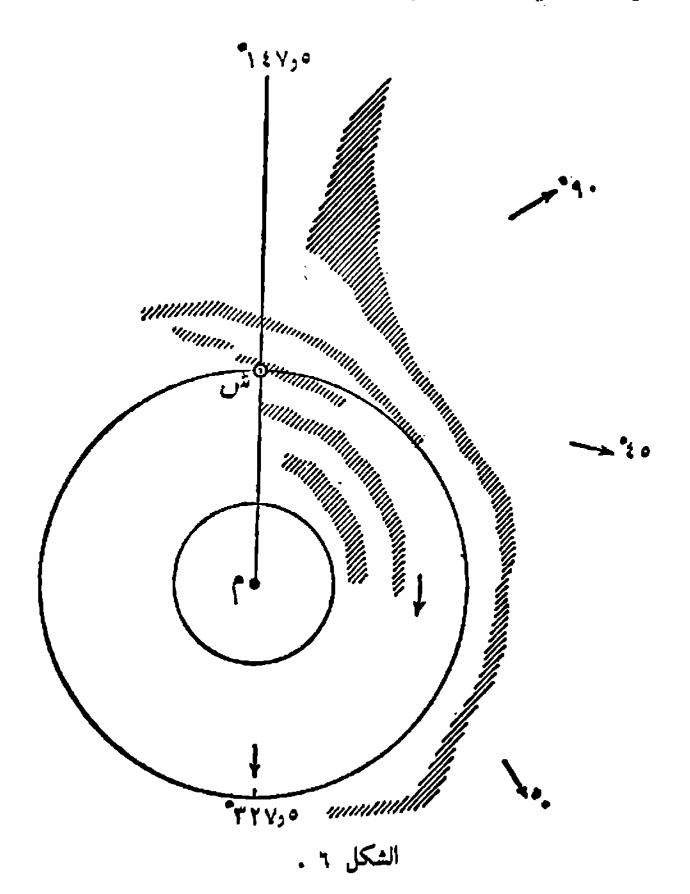
الكوكبة، وهذه المسافة تبلغ عشرة أضعاف المسافة التي يستطيع النظر أن يمتدّ إليها عن طريق الآلات البصريّة . ومن حسنات الموجات الإشعاعيّة الكهربائيّة أنها لا تخضع للامتصاص كالموجات المرئيّة . وهي تخترق أكثر « أكياس الفحم » كثافة دون أن يطرأ عليها أيّ تغيّر .

ويبيّن الشكل ٦ هيئة لولبات الكوكبة كما حصل عليها في هولندا عند أوّل محاولة . وقد حدِّد موقع مركزِ الكوكبة، في هولنّدا، عن طريق الإشعاع الكهربائيّ بدقّة لا تبلغها أيّة طريقة أخرى ، وتثبت النتائج ما ذكرناه في الصفحات ٣٦ الى ٤٠ بطريقة مرضيّة جداً (الإحداثيّتان المجريّتان : ط = ٣٢٧,٨°، ٨ ؛ ع = — ١,٥°) . وهكذا يبدو في قطب الكوكبة التقليدي، كما يقول أولسُن، خطأ يعادل ١,٥° تقريباً . فيكون البعـــد عن المركز ١٠ آلاف فرسخ نجمي وتكون سرعة الشمس في الدوران ٢٥٠ كلم في الثانية .

ويبلغ معدّل ذرّات الهيدروجين في داخل اللولبات ذرّتين في السنتيمتر المكعّب، لكن هذا الغاز يتجمّع، كما رأينا في غيوم تتعدّى كثافتها هذا الحدّ إلى درجة بعيدة .

أمّا كثافة الغاز بين اللولبات فتكاد تكون معدومة . ويبلغ عرض اللولبة ٢٥٠٠ سنة ضوئيّة إذا ما حصرناه في

المناطق التي تنخفض فيها كثافة الغاز إلى نصف الحدّ الأعلى الذي تبلغه في وسط اللولبة .



الشكل ٦ .

وتبلغ المسافة بين لولبتين محددتين بهذا الشكل، من طرف

الواحدة منهما إلى طرف الأُخرى ٥٠٠٠ أو ٦٠٠٠ سنة ضوئيّة (أي ضعف عرض اللولبة (شكل ٧).

وعند خطوط الطول الواقعة بعد ٥٥° تبدو الذراع البعيدة منتشرة بشكل مروحة. وتبدو الذراع ذاتها عند ط = ٥٠° واقعة شماليّ المستوي المجرّيّ الأوسط على مسافة ١,٥° عرضاً (إذن على مسافة ١٠٠٠ س. ض. فوق مستوي التماثل). وتقع قيفاوسيّات الدّجاجة البعيدة على البعد ذاته شمالي المستوي المجرّيّ. ويمكننا أن نعتبر ذلك نتيجة للحركات المعامدة للمستوي المجرّيّ لم يتمكّن الوقت من إخمادها في تلك المناطق البعيدة (كل ذبذبة من ذبذبات غيمة أو نجم من جهتي المستوي المجريّ تتعرّض لكبح الحركة من قِبل الكتل الموزّعة في المستوي).

فلا بدّ إذن أن تكون اللولبات تمثّل دوراً بارزاً بدورانها في الاتّجاه المعامد للمستوي المجريّ. أمّا في المستوي المجرّيّ ذاته فأثرها محدود لأنّ جذب الأجزاء الوسطى في هذا المستوي يظل مسيطراً. ويمكن الحصول على البرهان عن هذا الأثر المحدود في كون الدورانات، في جوارنا، «معامدة» لاتّجاه المركز وفي كون الدوران التفاضليّ منتظماً كلّ الانتظام على الرغم من قربه من لولبة يبلغ ميلها على مدارنا ٢٥°.

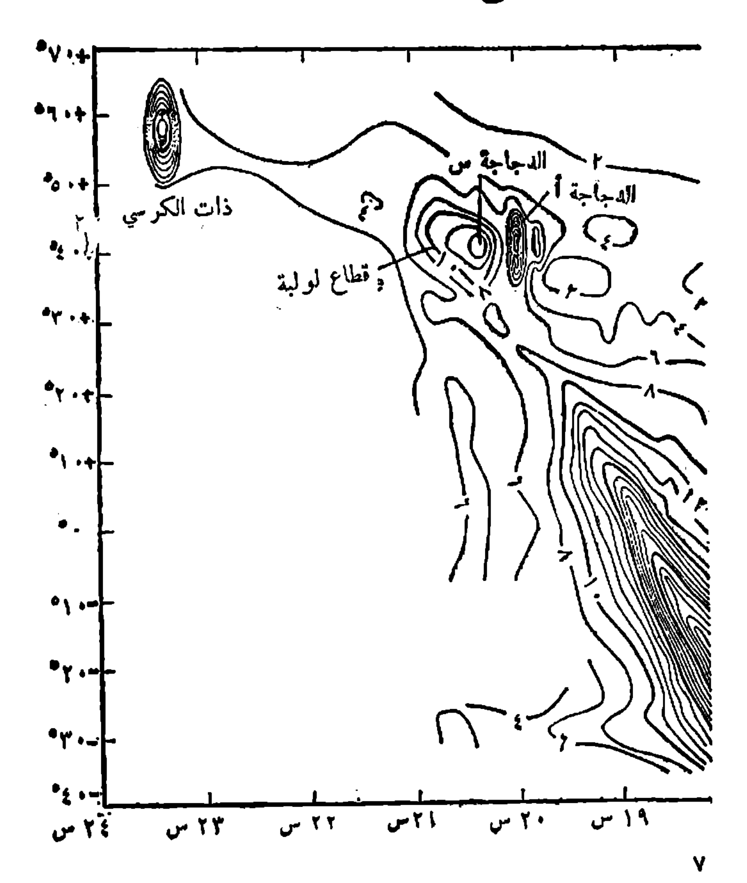
النواة بالضوء تحت الأحمر. — تابع ج. دوفه ومساعدوه في مرقبي ليون وپروڤانس العليا بحوث بادِه وفكّروا

بأنّهم إذا أثّروا بالضوء تحت الأحمر صفائح فوتوغرافية قد يستطيعون الحصول على صورة الحقول النجميّة الكائنة في النواة بواسطة آلات واسعة المجال (تلسكوب شميت) . وقد أحرزت هذه التجارب نجاحاً تامّاً . فعلى هامش غيمة الرّامي النجميّة الكبرى ظهرت غيوم تفوقها إلى حدّ بعيد كثافة واتّساعاً، وقد بيّن التحليل وجود تجمّعات مركزيّة ظهرت منذ سنوات عدّة بشكل غير واضح عن طريق تقنات ضوئيّة كهربائيّة .

المجرّة وعلم الفلك الإشعاعيّ . — منذ عام ١٩٣٢ راقب جانسكي صوتاً لاسلكيّاً صادراً عن المجرّة على موجة طولها متر . وقد رسم ريبر عام ١٩٤٠ خارطة قوّة الصوت فتبيّن أن الصوت يتمركز في المستوي المجريّ ويبلغ أقصى قوّته في صورة الرامي ثمّ يخفّ بسرعة باتجاه قطبي الكوكبة .

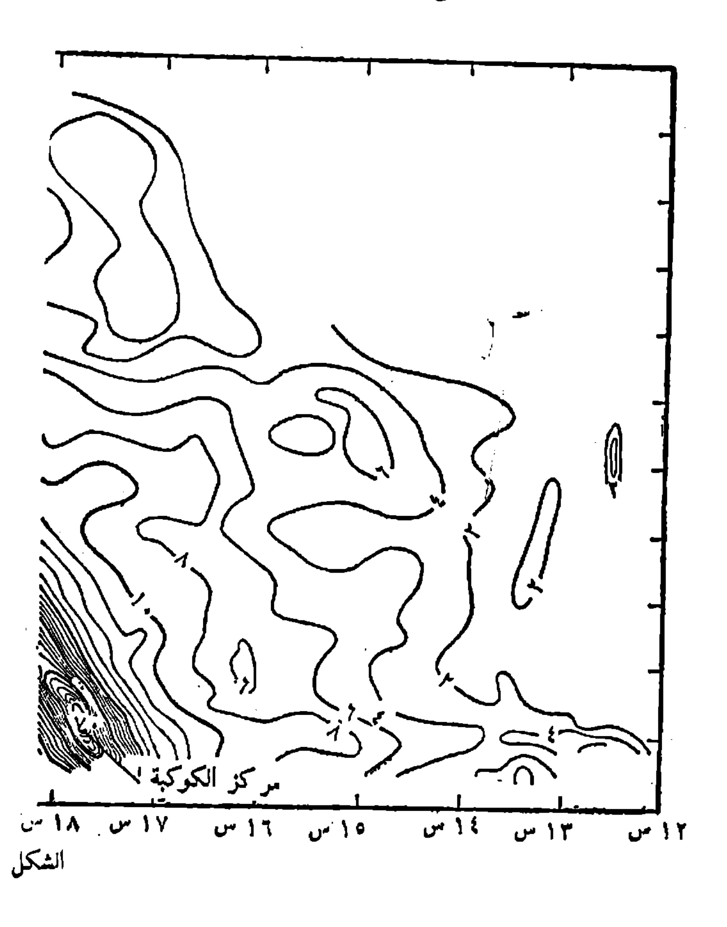
وقد عزيت هذه الظاهرة في بادئ الأمر إلى إشعاع الموادّ البيننجميّة، ثمّ اكتُشف فيما بعد أنّ للنجوم العاديّة، وللشمس خاصّة، بثّاً إشعاعيّاً كهربائيّاً لا يُستهان به (يفوق بكثير ما تسمح به نظريّاً حرارتها الحقيقيّة) . أيكون مجموع الإشعاعات الكهربائيّة لمئات مليارات نجوم الكوكبة هو الذي يحدث هذا الصوت الذي سمع أوّلاً ؛ لقد كانت هذه الطاقة الكليّة تبدو غير كافية . غير أن اكتشاف ينابيع «كتومة قويّة » (ينابيع إشعاعيّة) اعاد طرح قضيّة الصوت « القاعيّ » على بساط البحث . وتسهم النجوم

الجديدة الجبّارة وسدُمها الليفيّة المترسّبة إسهاماً فعّالاً في الحقل الإشعاعي الكهربائيّ مدّة مائة ألف سنة على ما يبدو . ولو كانت الينابيع أكثر عدداً ممّا يُظنّ وموزّعة توزيعاً



مناسباً لأسهمت إسهاماً أكبر في معرفة الصوت القاعيّ؛ لكن مسألة الأُصول ما زالت بعيدة الحلّ.

بيد أنّ هذا لا يقلّل من أهميّة الخرائط الإشعاعيّة



الشكل

الكهربائيّة للسماء. وتبدو هنا واحدة من أحدث هذه الخرائط (شكل ٧). وهي ترسم منظر القبّة الزرقاء لو كانت أعيننا تتأثّر بالإشعاعات λ = ١,٢٠ متر بدلاً من تأثّرها بالإشعاعات λ = ٠,٥μ تقريباً. والخطوط المنحنية ذات الشدّات الواحدة تشبه منحنيات التسوية في خرائط الأركان في جيوشنا وهي تتراوح بين الشدّة ١ والشدّة ٧٠. وتُرى هذه الخطوط متجمّعة حوالي مركز المجرّة، وتدل الشدّة القصوى ٧٠ على هذا المركز بدقّة غريبة.

وتجدر الملاحظة إلى مدى الفرق بين شدّة الرّامي بالإشعاع الكهربائيّ وفي العين المجرّدة. وذلك يعود إلى أنّ الموجات الإشعاعيّة الصادرة عن النواة تصلنا بدون امتصاص بينما يُطفئ الغمام الكونيّ النور. وكذلك لا يجاري نجم منظور باللمعان النسبيّ المنارة الباهرة ذات الكرسيّ أ (وهي سديم ليفيّ). وأدهش من ذلك ينبوع الدجاجة أ الغزير الواقع على مسافة ٢٠٠ مليون سنة ضوئيّة وراء المجرّة. ويمكننا أن نتصوّر مدى الشدّة الخارقة لهذا الينبوع الذي يبدو لنا على الرغم من هذه المسافة بشدّة ٣٧,٥ (أي ما يفوق نصف الشدّة القصوى لنواة كوكبتنا).

٧. توزيع النجوم في الكوكبة ــ الطفاوة

إنّ بعض النجوم البالغة القوّة والحرارة والتي تكوّنت حديثاً من غاز اللولبات وغبارها تتاخم في جوارنا المستوي

المجريّ عن قرب. ويبلغ «معدّل» بعدها عن هذا المستوي أقلّ من ١٠٠ سنة ضوئيّة.

أمّا النجوم الغزيرة، كشمسنا مثلاً، فتقع على مسافة أبعد من المستوي ويبلغ معدّل هذه المسافة ١٠٠٠ سنة ضوئيّة.

لكن لبعض النجوم الخاصّة، مثل RR الشلياق، مركّبات سرعة معامدة للمستوي المجرّي تبلغ ٦٥ كلم في الثانية (مثل الأكداس الكرويّة) لذلك نجدها على مسافات معدّلها ١٠٠٠٠ سنة ضوئيّة عن المستوي المجرّي.

وهكذا نرى ما هي المعلومات المتعلّقة في تنظيم الكوكبة والّتي نحصل عليها عن طريق دراسة السرعات. وبهذه الطريقة توصّل علماء الفلك إلى وضع رسم بيانيّ للمجرّة بواسطة مجسّمات ناقصة إهليلجيّة متزايدة الأحجام متناقصة الشدّات يعطي تداخلها وتراكبها صورة موفّقة للظاهرات الّتي نلاحظها. ويطلق اليوم اسم «الطفاوة المجرّيّة» على المجال الكرويّ الشكل الذي يشكّل «القرص» المجرّي مستواه القطريّ. وتحوي هذه الطفاوة في الدرجة الأولى الأكداس الكرويّة الّتي مكّنت دراستها من اكتشاف موقع الشمس الخارج عن المركز في المجرّة. لكنها تحوي أيضاً نجوماً منفردة عديدة تختلف في بعض صفاتها عن النجوم الواقعة في جوارنا. ولهذه النجوم الواقعة على خطوط طول بعيدة سرعات فائقة ومركّبات هذه السرعات في اتّجاه معامد للقرص المجرّي لا تختلف في قيمتها عن المركّبات الأُخرى.

وتدور هذه النجوم على مدارات إهليلجية مستطيلة حول مركز المجرّة وعلى مستويات موجّهة كيفما اتّفق.

ومن ناحية أخرى تبيّن أطياف هذه النجوم أنّها فقيرة جدّاً بالمعادن. وتعتبر اليوم شواهد على الأجيال الأولى من نجوم المجرّة. وسنعود إلى الحديث عنها تحت اسم «المجموعة السكنيّة ٢». وتقدّر كتلة الطفاوة (بما فيها الأكداس الكرويّة) الكليّة بـ ٢٠ إلى ٢٥ ٪ من كتلة المجرّة بكاملها.

ويبدو البث اللاسلكيّ على طول موجات متريّة موزّعاً في الطفاوة بشكل كروي تقريباً. وهذا يعني وجود مادّة بيننجميّة مشتّتة في جميع أنحاء الطفاوة ويظنّ أنّه البثّ الذي تحدثه إلكترونات سريعة جدّاً في حقل مغناطيسيّ عامّ: وقد لوحظ هذا البثّ «السنكروترونيّ» للإلكترونات «النسبويّة» بدون إشكال في سديم السرطان.

وقد قاد تقطيب خفيف لنور النجوم البعيدة الموجودة في القرص المجرّيّ، والذي لاحظه هلتنر وهول عام ١٩٤٦، الفلكيّين الى الاعتقاد بوجود حقول مغناطيسيّة ضعيفة في القرص المجرّيّ وخاصّةً في اللولبات. وباستطاعة الغبار الكونيّ البيننجميّ المتّجه في حقل لا يتعدّى الجزء من المليون من الغوس أن يستقطب الضوء الذي يخترق هذه الحقول.

فعلى الدراسات حول زخميّة الغاز البيننجميّ أن تأخذ بعين الاعتبار هذه الحقول المغناطيسيّة التي تستطيع أن تؤثّر على العناصر المؤيّنة من هذا الغاز.

الفصل الثالث

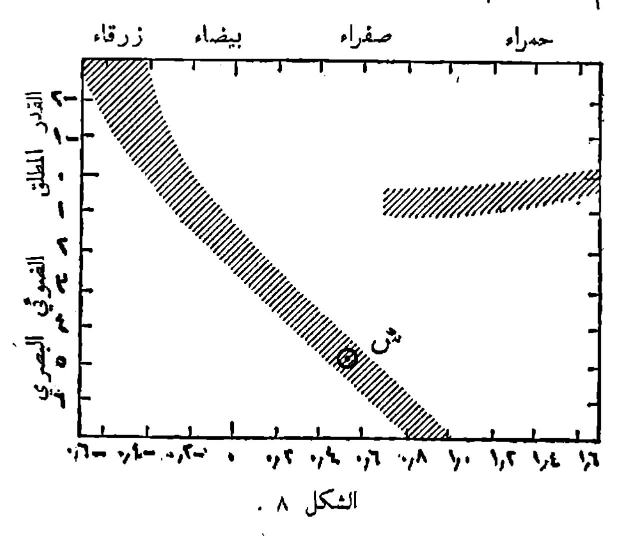
المجموعات السكنيّة النجميّة
تطوّر النجوم ــ تطوّر الأكداس
عمر النجوم وعمر المجرّة .

١ . الرسوم البيانيّة هرتسپرونغ ورسّل .

في أوائل هذا القرن بينما كان هرتسبرونغ ورسّل يدرسان جميع النجوم التي كانت تعرف شدّتها الضوئيّة الذاتيّة ــ المسمّاة « القدر المطلق » ــ وحرارتها السطحيّة (أي اللون) قاما باكتشاف مهمّ ، وهو أنّ النجم لا يمكن أن تكون له صفات مميّزة أيّة كانت . فلنحمل على محور السينات الحرارة أو اللون أو الشكل الطيفيّ ، وعلى الإحداثيّ الرأسيّ القدر المطلق (أي اللمعان الذاتيّ بالنسبة إلى الشمس) ، فيتمثّل كلّ نجم في ربع الدائرة بنقطة .

فهذه النقط ، بدلاً من أن تتوزّع في المستوي تتجمع بشكل شريطين مستطيلين ضيّقين أحدهما نازل في الرسم البياني من اليسار إلى اليمين ويشكّل المجموعة الرئيسيّة التي يحتوي قسمها الأعلى إلى اليسار النجوم الزرقاء الأكثر لمعاناً ويحتوي قسمها الأسفل إلى اليمين النجوم القزمة

الحمراء (ويسمّى هذا القسم من المجموعة الرئيسيّة فرع الأقزام) . وتقع الشمس وهي قزم أصفر في النقطة ش من الرسم . والنجوم القزمة منتشرة بوفرة في الفضاء (شكل ٨).

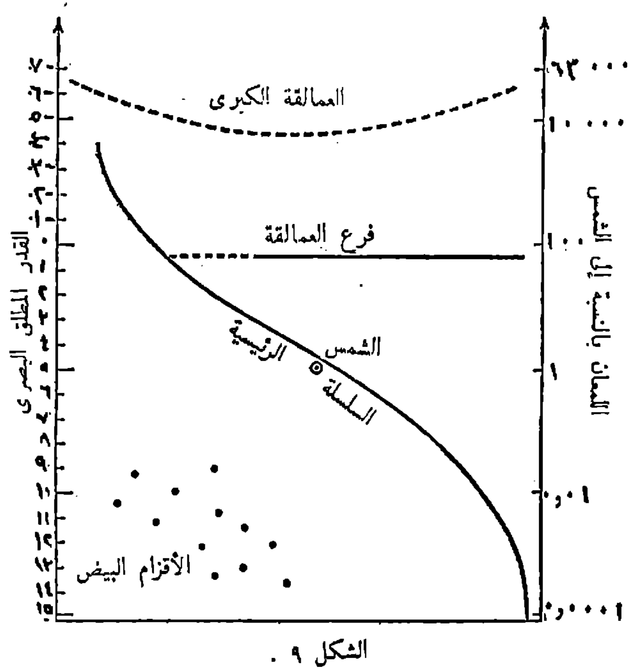


الشكل ٨ .

أمّا المنطقة الثانية الموازية لمحور السينات فتقطع الرسم على ارتفاع ق = + ٠٫٥ . وهي تشكّل فرع « العمالقة » الذي لا يتصل بالمجموعة الرئيسيّة (وتسمّى المسافة الفارغة « فرجة هرتسبرونغ ») .

وقد أهملنا « العمالقة الكبيرة » في بادئ الأمر لتسهيل القضيّة، وهي نادرة في الفضاء غير أنها كثيرة في جداولنا لأنها ترى عن بعد شاسع . وموقعها في أعلى الرسم غير أنها

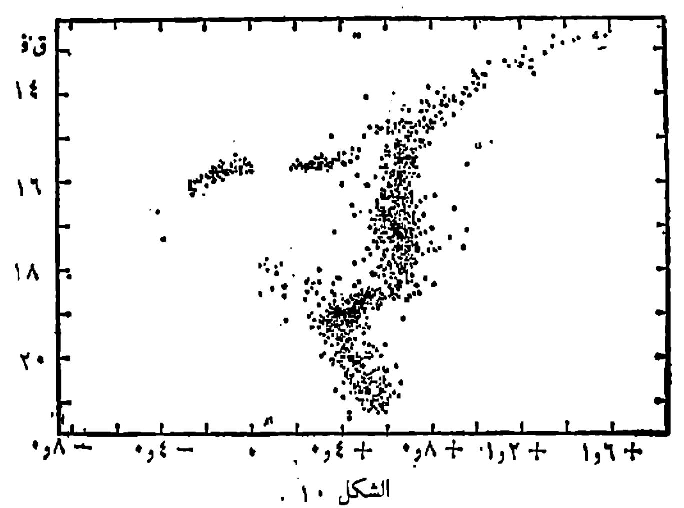
لا تشكّل فيه مجموعة متواصلة (شكل ٩). وتنتشر في الزاوية السفلى اليساريّة من الرسم كواكب غريبة، هي الأقزام البيضاء ذات المادّة المتكثفة إلى أقصى درجات التكثّف والخالية في داخلها من الهيدروجين لأنها أحرقت هيدروجينها.



الشكل ٩ .
الرسم البياني لهرتسبرنغ ورسّل لجوار الشمس (المجموعة السكنية ١)

وقد اعتبر هذا الرسم المبنيّ على مراقبة جوار الشمس القريب لمدّة طويلة، رسماً عامّاً. وظنّ أنّه يمثّل المجموعة السكنيّة

النجميّة «في ذاتها» الوحيدة في الكون بأسره. وحاول الفلكيّون أن يبنوا عليها نظريّة التطوّر النجميّ. غير أن هذا الرسم لا يشمل في الواقع إلاّ النجوم الموجودة في لولبات كوكبة واحدة أو في جوارها القريب، ويطلق عليه اليوم اسم الرسم البيانيّ للمجموعة السكنيّة ١ وكلّ ما فيه يحمل على الاعتقاد بأنّه ليس صافياً بل هو مزيج من مجموعات سكنيّة تعود إلى أزمنة مختلفة. وقد أعطت مراقبة الأكداس الكرويّة رسماً بيانيّاً يختلف كل الاختلاف عن الرسم الأوّل. ويبدو في الشكل ١٠ توزيع هذه النجوم المسمّاة المجموعة السكنيّة ٢.

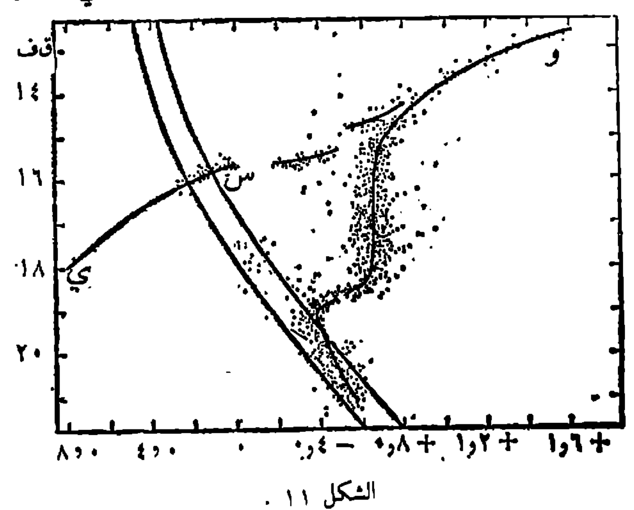


الشكل ١٠.

الرسم البياني للمجموعة السكنية ٢ (الكدس الكروي مسيه ٣)

ولا بدّ من أن تكون هذه المجموعة السكنية صافية كلّ

الصفاء لأنها تطوّرت في « إناء مغلق » إذا صحّ هذا التعبير ، داخل الأكداس الكرويّة. وقد بيّن باد ه على مراحل أن هذه المجموعة السكنيّة « تسيطر » في الكونَ . فنويات الكوكبات الإهليلجيّة الشكل وقرص اللولبات بين الأذرع تتألّف كلّها من المجموعة السكنيّة ٢ دون سواها . وهي مجموعة



الشكل ١١ .
مقارنة الرسمين البيانين ٩ و ١٠ .

سكنيّة أكثر شمولاً من الأولى وأقدم منها ولا تلاحظ فيها عمالقة كبرى لافتقارها إلى الغازات المنتشرة وإلى الغبار .

ويتميّز هذا الرسم البيانيّ من النموذج الثاني بعدم وجود العمالقة الكبرى وعدم وجود القسم الأعلى من المجموعة الرئيسيّة . ولم يبق فيه إلاّ « قطعة » الأقزام الصغيرة التي لا

تختلف عن القسم الموافق لها في المجموعة المائلة من النموذج ١ عندما نطابق بين الرسمين (شكل ١١).

وفي النموذج الثاني فرع من النجوم العملاقة . غير أن هذه النجوم أكثر لمعاناً من عمالقة النموذج الأوّل . والفراغ الظاهر في هذا الفرع (شكل ١٠) يحتوي على RR الشلياق (المتغيّرة في مدّة قصيرة) التي لم تمثّل هنا . ويلاحظ اخيراً (شكل ١٠) أنّ قطعة الأقزام تتّصل بفرع العمالقة عن طريق انقلاب وفرع عموديّ .

وقد طابقنا في الشكل ١١ قطعة المجموعة الرئيسيّة لمسّيه ٣ مع المجموعة المظلمة التي تمثّل في الشكل ٨ المجموعة الرئيسيّة ٢ .

٢ . تفسير الرسوم البيانيّة عن طريق تطوّر النجوم .

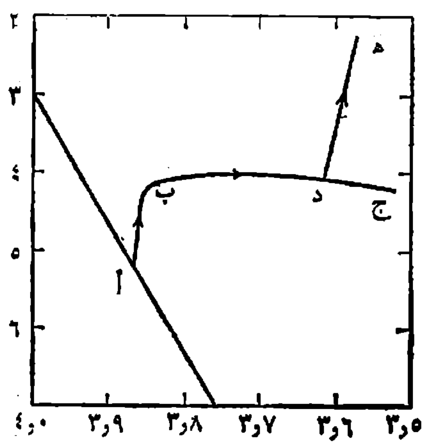
تتطوّر النجوم بتحوّل هيدروجينها إلى هيليوم . فالعمالقة الكبرى التي يتمّ فيها هذا التحوّل بسرعة تحيا بالطبع حياة قصيرة، وهي تنطفئ وتزول من جداولنا الإحصائيّة؛ أمّا القزمة، وهي مقتصدة، فتعيش بالعكس مليارات السنين دون أن تتغيّر تغيّراً يذكر .

١ . تفسير المجموعة الرئيسيّة . — تبيّن البحوث النظرية أنّ النماذج المتجانسة التي لا يختلف التركيب الكيميائيّ لمادّتها من سطحها إلى مركزها تشبه النجوم « الحقيقيّة »

للمجموعة الرئيسيّة . ويعود وضع النجم في نقاط مختلفة من المجموعة إلى كتلته وحدها . وهذا ما يحملنا على الاعتقاد بأن النجوم الصفراء التي تكوّنت حديثاً على حساب الغاز الكونيّ المنتشر موزّعة في المجموعة الرئيسيّة .

٢ . **العمالقة الحمراء** . — ظلّت الغزارة الطاقيّة لهذه النجوم غامضة مدّة طويلة لأن مركزها كان يبدو بارداً (حسب النماذج المتجانسة) إلى درجة لا تمكّنه من تحويل الهيدروجين إلى هيليوم .

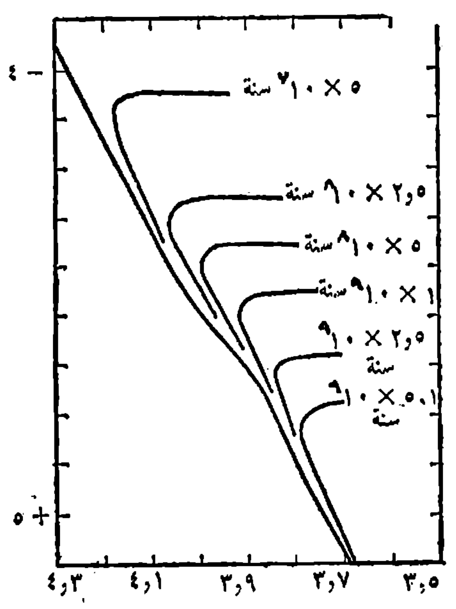
ويكمن الحـــلّ في اعتبار نماذج « غير متجانسة »



الشكل ١٢ : تطور نجم من نجوم المجموعة الرئيسية

على محور السينات : لوغاريتم درجات الحرارة .
على الإحداثي الرأسي : القدر المطلق الكلي . يمثل « أ » نجماً قزماً على السلسلة الرئيسية يسير في التطور وفاقاً للاتجاه أ ب د هـ .

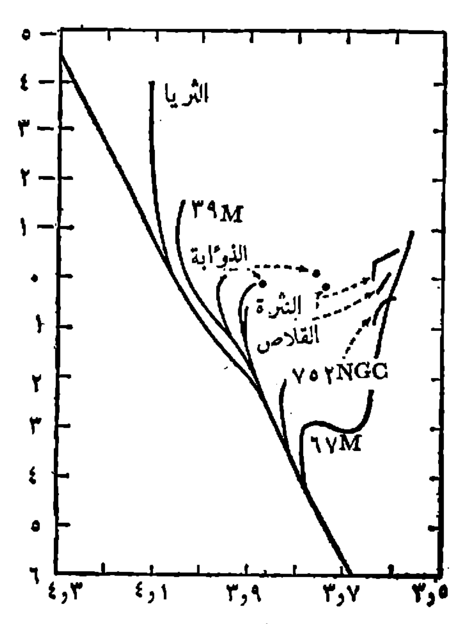
تحوّل فيها قسم كبير من الهيدروجين المركزيّ إلى هيليوم. وقد كبرت مع الزمن نواة من الهيليوم ثابتة الحرارة. وكان لا بدّ للنجم من أن يتمدّد ليحتفظ بتوازنه، وبالتالي أن يصبح لمّاعاً مع الاحتفاظ بحرارته السطحيّة. ويدل الخط أب على هذا التطوّر (شكل ١٢).



الشكل ١٣ – التطور النظري لنجوم المجموعة الرئيسية

ثمّ عندما تبلغ نواة الهيليوم هذه ١٢ ٪ من الكتلة تنهار على ذاتها بينما يبرد غلاف النجم وسطحه وفقاً للخطّ

ب ج. وعندما تبلغ كتلته نواة الهيليوم ٢٠ ٪ من نواة النجم يحصل انقلاب جديد في الاتّجاه (نحو د في الشكل ١٢) وينزلق النجم عندئذ على الفرع العموديّ د هـ للعمالقة الحمراء (الشكلان ١٠ و ١٢).



الشكل ١٤ – المجموعة السكنية لبعض الأكداس المفتوحة (المجموعة ١).

وفيما بعد عندما تتعدّى كتلة نواة الهيليوم ٥٠ ٪ تبلغ من الانقباض درجة تؤدّي (بدرجة حرارة مرتفعة جدّاً) إلى تكثّف الهيليوم إلى كربون. ويرافق هذه التفاعلات

انزلاق الكوكب نحو اليسار (و س ي في الشكل ١١) بينما يتمّ نفاد الهيدروجين.

وعندما تصل هذه الكواكب إلى نقطة ي تصبح أقزاما زرقاء ما تلبث ان تتحول إلى أقزام بيضاء (شكل ٩). ويمكّن الحساب النظريّ من معرفة الوقت الذي ينقضي بين تكوّن النجوم في مواضع مختلفة من المجموعة الرئيسيّة ووصولها إلى نقطة انقلاب تطوّرها (شكل ١٣).

ويلاحظ أن هذا التطوّر سريع بالنسبة إلى النجوم القويّة اللمعان. وفي الأكداس القديمة تكون الطبقات العليا قد زالت من الوجود.

٣. تطوّر كوكبة ونجومها.

يتّفق علماء الفلك اليوم على الاعتقاد بأنّ أوّل نجوم كوكبة ما تنشأ في سديم من الهيدروجين النقيّ، والآن (١٩٦٩) يبدو أن تكوّناً أوليّاً كثيفاً من الهيليوم في المرحلة الأُولى للكون، قبل ظهور أيّ نجم يبدو أمراً محتملاً. لكنّ هذا الأمر لا يبدّل شيئاً في الأسطر التالية، والهيليوم الذي ينتجه كلّ نجم يضاف إلى الكميّة الأولى المخزونة فيه.

وأكثر النجوم كثافة تحوّل كميّة كبيرة من هذا الهيدروجين بسرعة إلى هيليوم، ثمّ يتحول هذا الهيليوم إلى كربون وأكسيجين وعناصر ثقيلة في ظروف تفوق بكثير ظروف الحرارة والضغط الموجودة في مراكز النجوم الطبيعيّة

كالشمس. ونحن نعلم أن الشمس لا تبلغ أكثر من ١٤ مليون درجة في وسطها، أمّا التفاعلات التي تحمل الهيليوم على التحوّل إلى كربون فتحتاج إلى مئات الملايين من درجات الحرارة.

ويؤدّي نفاد الوقود في النجم إلى جعل هذا النجم «قزماً أبيض». ونحن نعلم أن قزماً أبيض لا يمكن أن تكون له كتلة تفوق كتلة الشمس بـ ١,٤٤ مرّة (وهو الحدّ الأعلى النظريّ لوجود كتلة من المادّة «المنحلّة»). فلا بدّ للنجوم التي تتكوّن بكتلة تفوق هذا الحدّ من أن تقذف ببعض مادّتها أو أن تتجزّأ أو أن تنفجر قبل أن تتمّ تطوّرها.

ويرجّح أن تكون ظاهرة الانفجار المعروفة باسم النجوم الجديدة الكبرى نتيجة لحادث من هذا النوع تختصّ به نجوم زائدة الكتلة سائرة في طريق تطوّرها، لكنّ انفجار النجوم الجديدة الكبرى يشتّت في الفضاء عناصر ثقيلة كانت قد كوّنتها في مناطقها المركزيّة.

وهكذا تحصل الكوكبة في مرحلة أولى سريعة (فالنجوم الثقيلة تتطوّر بسرعة فائقة) على القسم الأكبر من مخزونها من الهيليوم وعلى كميّة لا بأس بها من المعادن (من ٢ إلى ٣٪).

وبعد هذا الدور البدائيّ الصاخب، يقلّ عدد النجوم الجديدة الكبرى فتعود لا تعدّل تركيب المحيط إلاّ تعديلاً بطيئاً.

وفي السلالات التالية من النجوم التي تنشأ في « القرص » حيث تتمركز بقايا الغاز البدائيّ تحت تأثير الدوران، نجد نجوماً كشمسنا تحوي منذ تكوّنها على ٣٢ ٪ من الهيليوم و ٢ أو ٣ ٪ من المعادن . وتتابع هذه النجوم، خلال مليارات السنين تحويل الهيدروجين في وسطها إلى هيليوم قبل أن تصل إلى المرحلة النهائيّة التي يبدأ فيها الهيليوم نفسه أن يتحوّل . وهذه المراحل النهائيّة « سريعة » لأن تفاعلات الهيليوم تُنتج من الحرارة أقل بكثير ممّا تنتجه تفاعلات الهيدروجين. زد على ذلك أن النجم يكون في هذه المرحلة قد أصبح عملاقاً ويستنفد من الحرارة مئة ضعف ما تستنفده الشمس منها . فلا بدّ إذن من أن الانتقال إلى حالة الأقزام البيضاء النهائيّة أو بالأحرى إلى حالة الجثث النجميّة يتبع بسرعة نفاد الهيدروجين الجاهز .

١ . عمر أقدم أكداس القرص المجرّيّ وعمر أقدم نجوم المجموعة السكنيّة ١ . — إن أقدم أكداس المجموعة السكنيّة ١ هما مسّيه ٦٧ (حسب رسم حالته البياني في الشكل ١٤) و NGC ١٨٨ . وبحسب التقديرات الحاليّة (١٩٦٩) وبعد تصحيح بعض التقديرات المغالى فيها، نستطيع أن نعتبر عمر مسّيه ٦٧ سبع مليارات سنة تقريباً وعمر NGC ١٨٨ أحد عشر مليار سنة تقريباً .

ويقع ما يقرب من عشرة نجوم من المجموعة السكنيّة ١ أتقن درسها تحت خطّي مسّيه ٦٧ وNGC١٨٨ البيانيّين،

فهي إذن أقدم منهما عهداً. ولا يبعد عمرها عن ١٢ مليار سنة مع فارق لا يتعدّى ١٠٪.

٢ . عمر أقدم الأكداس الكرويّة (المجموعة السكنيّة٢). ـ يبدو مسّيِه ٢ ومسّيِه ٣ ومسّيِه ٤ أقدم الأكداس الكروية.

ولسوء الحظ تفتقر الرسوم البيانيّة لأكداس المجموعة السكنيّة ٢ إلى خطوط مميّزة دقيقة وما يزال الفلكيّون يترددون حول تعيير نجومها المتغيّرة ليتوصّلوا إلى تحديد وضع الرسم البياني بجملته. وليس للنماذج النظريّة لتقدير المجموعات السكنيّة ٢ القدر الكافي من الدقّة. ففي الوقت الحاضر يبدو من المعقول أن يُحدّد عمر أقدم الأكداس الكرويّة بـ ١٤ مليار سنة.

٣ . عمر المجرّة. ـ فاستناداً إلى ذلك نستطيع أن نقترح التطوّر التالي لكوكبتنا.

نشأت المجرّة منذ ١٤ أو ١٥ مليار سنة من كتلة من الهيدروجين تبلغ ٢٠٠ مليار ضعف كتلة الشمس ومرّت بمرحلة صاخبة من التطوّر انتج خلالها عدد من النجوم الضخمة كميّة كبيرة من الهيليوم وبعض العناصر الثقيلة. وقد انفجرت هذه النجوم غير المستقرّة بوفرة قبل أن تزول وخلال مدّة قد تبلغ الملياري سنة تركت للأجيال التالية من النجوم جوّاً كونيّاً تبلغ فيه نسبة الهيليوم ٣٠٪.

وبذلك انتهت مرحلة الهيجان في تاريخ الطفاوة . وكان الاثنا عشر ملياراً من السنين التي تلت ذلك مهمّة في داخل القرص حيث تابعت أجيال متعاقبة من النجوم أن تتكوّن في اللولبات . وما يزال يتكوّن منها أيضاً في أيّامنا هذه على الرغم من أنّ كتلة الغاز الجاهز الآن لا تتعدّى ١ ٪ من كتلة الغاز البدائيّ .

وقد تكوّنت شمسنا منذ ٣ مليارات سنة تقريباً، على جانب إحدى لولبات المجرّة ثمّ مالبثت ان تنظّمت حولها السيّارات ، وهي ناجمة عن تجمّع حطام صلبة موجودة في المحيط .

فشمسنا إذن حديثة التكوّن، وقبل أن تتمّ تطورها يبدو أن لها مستقبلاً لا تقلّ مدته عن مدّة ماضيها .

الفصل الرّابع

الكوكبات

كان النقاش في الأوساط الفلكيّة المختصّة، ما زال محتدماً حوالي عام ١٩٢٠، حول وجودها أشياء في الكون خارجاً عن كوكبتنا أو عدم وجودها. وكان الخلاف ينحصر في النقطة التالية: هل «السّدم اللولبيّة» موجودة داخل المجرّة أو خارجها. وكانت البراهين المقبولة (أو المعتبرة مقبولة في حالة معارف ذلك العهد) تدعم كلا الرأيين. وبتعبير آخر كان العلماء ما يزالون يتساءلون حتّى عام ١٩٢٠ عما إذا كانت كوكبتنا تؤلّف الكون وحدها.

ومنذ العامين ١٩٢٣ ــ ١٩٢٤ انقلبت الآية رأساً على عقب بفضل تدخّل تلسكوب جبل ويلسن البالغ قطر عدسته ٢,٥٤ متراً. وبفضل هذا التلسكوب «حلّلت» اللولبتان الكبيرتان المجاورتان مسّيه ٣١ المرأة المسلسلة ومسّيه ٣٣ المثلّث إلى نجوم وبدت ببنية شبيهة ببنية كوكبتنا بما فيها الغمام النجميّ والأكداس المفتوحة والسّدم العديمة الشكل من لمّاعة ومظلمة وأكداس كرويّة تابعة. وقد تعرف فيها هبّل، بين النجوم العملاقة التي تظهر فيها، على قيفاوسات مكّنته من الحصول على تقدير أوّلي للمسافات. وتبدو هذه

المسافات لأوّل وهلة بعيدة إلى درجة أنها لا تبرهن عن وجود هذه الكوكبات اللولبيّة خارجاً عن المجرّة وحسب بل تدلّ ايضاً على أنّها تعادل كوكبتنا بأحجامها على الأقل. وهكذا عُرف « محتوى » اللولبات التي أتينا على ذكرها بأنّه في جميع تفاصيله مطابقاً لما يشبهه ممّا نشاهده بمحاذاة المجرّة.

وقد بيّن إحصاء أدق لمحتويات الكون (سنعود إليه فيما بعد) ان الشكل اللولبيّ ليس هو السائد بين هذه المحتويات. وقد جرت العادة على تسمية جميع أعضاء هذه الأسرة « كوكبات » قياساً على اسم كوكبتنا.

ومن ناحية أخرى كانت النتائج الأُولى قد تركت لكوكبتنا حجماً يفوق أحجام جميع الكوكبات الأُخرى. ويعود الفضل في وضع كوكبتنا في مرتبتها الصحيحة، وهي مرتبة محترمة وإن لم تكن شاذّة، إلى اكتشافين تمّا فيما بعد. أولهما اكتشاف ضواحٍ قليلة اللمعان تحيط بالكوكبات، جعلت قطرها يزيد ضعفين أو ثلاثة أضعاف عمّا كنّا نعتقد. وتقع شمسنا في كوكبتنا بشكل هامشيّ إلى درجة أن مراقباً من لولبة مجاورة يعتبرها جزءاً من هذه المناطق المجهولة.

ودلّ الاكتشاف الثاني الذي تمّ عام ١٩٥٢ على أنّنا كنّا نقدّر مسافات الكوكبات بأقلّ مما هي عليه. فمسافة أقرب الكوكبات منّا تستند إلى مراقبة قيفاوسانها، وقد توصّل هَبّل تدريجاً وبعد دراسات قيّمة في جبل ويلسُن دامت بضع

سنوات إلى معايير وصلت بأسباره إلى مليارات السنين الضوئيّة. غير أن وحدة القياس الأُولى التي هي مسافة القيفاوسات ظلّت تشتمل على خطإ أساسيّ. وقد بيّنت الدراسات الحديثة أن لمعان القيفاوسات يبلغ أربعة أضعاف ما كان يعتقده الفلكيّون، فمسافتها إذن تبلغ ضعفي المسافة التي كانت مقدّرة لها. فاصبح إذن من الضروري أن تضاعف جميع المسافات الخارجة عن مجرّتنا.

ويحملنا مُعامل البعد هذا (وهو مُعامل باده) على أن نضاعف أيضاً قطر الكوكبات. فإذا أضفنا هذا القطر المضاعف إلى اكتشاف الضواحي نرى أن كوكبات عديدة تفوق كوكبتنا حجماً. ويفوقنا مسّيه ٣١ على الأخصّ كثيراً في المجموعة المحليّة.

١ . المعايير المتعاقبة لقياس مسافات الكوكبات

لا يغيّر تعديل الوحدة المسافيّة شيئاً في نسب المسافات التي اقترحها هبّل للكوكبات البعيدة. ونورد هنا باختصار مبادئ بحوثه القيّمة.

١ً . تحديد موقع الكوكبات القريبة بالاستناد إلى القيفاوسات

٢ً . البرهان على أن للنجوم الأكثر لمعاناً في كل نوع من أنواع الكوكبات لمعاناً مطلقاً لا يتغيّر.

٣ً . استعمال النجوم العظمى (التي تفوق القيفاوسات لمعاناً) معايير للمسافة عند عدم التمكّن من رؤية القيفاوسات.

٤ً . التسليم بأن اللمعان الكلّي للكوكبات الكبرى في كدس لا يتغيّر ، أيّاً كان هذا الكدس ، شرط ألاّ يكون فقيرا ــ وتعيير هذا الإشراق الكلّي بالاستناد إلى الأكداس القريبة التي مكّنت العمليّات السابقة من معرفة مسافاتها .

٥ً . الانطلاق من هذا الإشراق الكلّيّ للكوكبات الكبرى لمتابعة السير نحو مسافات أبعد ، ومراقبة أكداس يتناقص فيها تدريجاً الحجم الظاهر لأكبر الكوكبات التي تكاد لا تُرى .

٢ . التعييرات الجديدة لسلّم المسافات .

أشرنا إلى تضعيف المسافات الخارجة عن المجرّة من قبل باده عام ١٩٥٢ ، بعد استناده الى تقدير أصحّ للمعان المطلق للقيفاوسات . وقد جاءت عوامل جديدة ، بعد ذلك التاريخ ، أدّت جميعها إلى تكبير المسافات ، نورد هنا أهمّها :

ليست النقط المشرقة ذات اللمعان الأقصى التي مكّن تلسكوب جبل ويلسُن البالغ قطر عدسته ٢,٥٤م من رؤيتها في الكوكبات البعيدة نجوماً بل هي سدم مشرقة شبيهة بسديمنا الجبّار . والواقع أن لهذه السدم لمعاناً كلّيّاً يفوق بدرجات لمعان النّجوم حتى الجبارة الكبرى منها . فكان اعتبار هذه النقط المشرقة نجوماً يحمل على تقدير لبعد الكوكبات ، موضوع الدراسة ، يظلّ بعيداً عن الحقيقة . وقد مكّن تلسكوب جبل پالومار البالغ قطر عدسته ٥,٠٨ م من اكتشاف هذا الخطإ في التقدير ومكّن من تصحيحه .

ففي قياس معاير مسافة (قَ – ق) الكوكبات ، نحتاج إلى معرفة قدرها الظاهر قَ وقدرها المطلق ق . وقد ظلّ دوماً هذان الرقمان يشكوان نقصاً في التقدير .

وسنعود فيما بعد إلى الصعوبات التي تعترض قياسهما. أما الآن فنكتفي بالقول إن علماء الفلك يتفقون على اعتبار ق = – ٢٢ فيما يتعلّق بالكوكبات العظمى الموجودة في كدس كبير (القدر الفوتوغرافيّ) .

ففي بعض الأحيان كان لا بدّ من ضرب المسافة التي اقترحها هبّل بـ ٧ . وهذا يبيّن أن الفيزياء الفلكيّة علم طليعيّ دائم التقدّم، لا يشبه بوجه من الوجوه الصورة التي كنّا قد كوّناها عن علم فلك تحجّر منذ زمن بعيد في كماله المزعوم . وقد اكتشف الروّاد من طراز هبّل عالما جديداً وشعروا بضرورة إحصاء موجوداته واكتشاف الطرائق الكفيلة بالحكم عليه . فاستعملوا الآلات المتوافره لديهم على أتمّ وجه، واكتفى من جاء بعدهم، بأن يدخل على ما اكتُشف بعض التعديلات بفضل وسائل للبحث جديدة وقويّة .

٣ . – تصنيف الكوكبات

(انظر الشكل ٢ ص ١٨)

حوالي عام ١٩٣٠ اقترح هبّل تصنيفاً للكوكبات وضع فيه بالدرجة الأولى إهليلجية الشكل وفقاً لترتيب تسطّحها المتزايد من EO حتى العدسيّة الشكل E7 . ثمّ جاءت

بعدها اللولبات وقد قسمها قسمين، قسم اللولبات ذات الشكل S العاديّ حيث تنطلق الأذرع من النواة ذاتها وقسم اللولبات العارضيّة S_b حيث تنطلق من عارضة قطريّة. وفي القسمين تدل الأحرف، a,b,c ، على الأهميّة النسبيّة للنواة والاذرع. ففي النوع، S_a تكون النواة كبيرة والأذرع صغيرة عديمة الشكل أمّا في النوع S_c فتكون النواة ضئيلة والأذرع بالغة النموّ ومجزّأة. وفي النوع S_a تكون النواة صغيرة واللولبات بشكل نقط. وأخيراً تأتي الكوكبات غير المنتظمة.

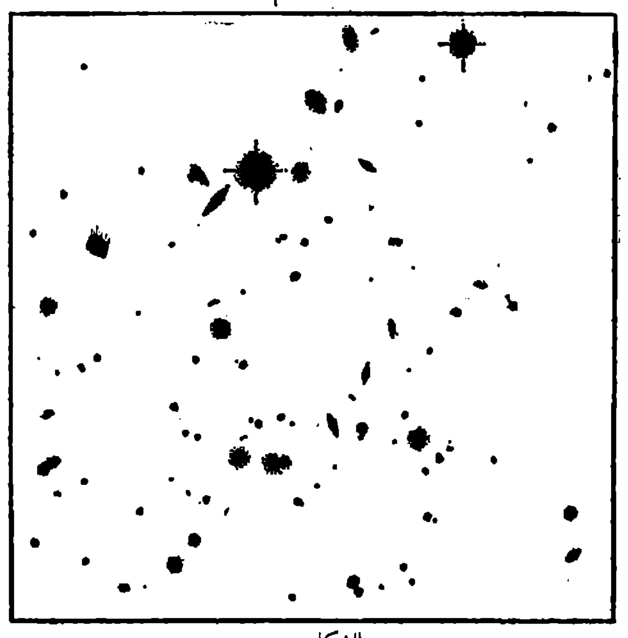
ولم يدّع هبل يوماً أنه ينسب لهذا التصنيف معنى تطوريّاً ينتقل من النوع الحديث إلى النوع القديم على الرغم من أن الكثيرين من الذين شرحوه تبنّوا هذه الفكرة.

وقد نشأت فكرة معاكسة تعتبر الكوكبات غير المنتظمة حديثة التكوين ثمّ تتّخذ شكل E العدسيّ وتنتهي بشكل S الكروي وهو غاية تطوّرها. غير أن كتلة الكوكبات الإهليلجيّة لا تختلف «بطريقة نظاميّة» عن كتلة الكوكبات اللولبيّة.

غير أن الرأي الحالي يختلف عن هذا الرأي كلّ الاختلاف فأشكال E كوكبات خالية من الغازات، أما الأشكال S فكوكبات تمكّنت من تكوين لولبات بفضل غازاتها.

ففي الأكداس الكبيرة لا توجد إلا كوكبات من الشكل E . وقد بيّن شبيتسر وباده أنّ «كثرة المرور»

بالقرب و «أنصاف الاصطدامات» المتكرّرة نقّت الكوكبات من غازها. لذلك لا نجد كوكبة لولبيّة واحدة في هذه الأكداس مهما بلغ تسطّحها. فدرجة التسطّح تعود إلى عزم الدوران الخاصّ بكل جسم (شكل ١٤).



الشكل ١٥ :
المنطقة المركزية لكدس الإكليل الشمالي وليس فيها لولبة واحدة.

وقد نشأت وما تزال تنشأ حتى الآن في الكوكبات غير المنتظمة أو اللولبيّة التي تحوي غازاً مجموعة سكنيّة من النجوم العملاقة الكبرى، وهي نجوم زرقاء من النموذج

الطيفي O قد تبلغ قدرها الفوتوغرافي المطلق ق ف = ـ ٧,٥ . وغزارة هـذه العمالقة القصوى في المجموعة السكنيّة تفوق مائة ألف مرّة غزارة شمسنا في المجال الفوتوغرافيّ ويكون دائماً مجمل المجموعة السكنيّة للكوكبات اللولبيّة مختلطاً، ونجد دائماً إلى جانب المجموعة السكنية ٢ مجموعة سكنيّة ١ (وهذه الأخيرة هي الأساسيّة مع كونها أقلّ من الأُولى لفتاً للأنظار).

أما الكوكبات الإهليلجيّة مجموعاتها السكنيّة بالعكس متجانسة من النوع ٢ وأضخم نجومها حمراء (من النموذج الطيفيّ M) ولا يتعدّى لمعانها ق ف = ـ ١,٥ (أي ٢٥٠ مرّة أقل من لمعان العمالقة الكبرى في الكوكبات اللولبيّة).

ويبلغ تجانس سكّان الكوكبات الإهليلجيّة والشّبه بين أفرادها حداً يجعل لونها ثابتاً إلى درجة تلفت الأنظار .

٤ . المجموعة المحلية للكوكبات

في الكوكبات ميل كبير إلى التجمّع، وتجمّعها اثنتين اثنتين وثلاثاً ثلاث وأربعاً أربعاً أو خمساً خمساً ليس بالأمر النادر الوقوع . لكن الخرائط الحديثة للسماء بيّنت تشكيلات تفوق هذا الحدّ وتبدو فيها تجمّعات كثيرة تضمّ الكوكبات بالمئات وبالآلاف أحياناً . وهذه التجمّعات من الكثرة بحيث يتساءل العلماء اليوم عمّا إذا لم تكن هذه الأكداس متماسّة وعمّا إذا كان يوجد بينها مكان لكوكبات منعزلة

تتمتّع بحريـّة نسبيّة (أي كوكبات في الحقل العامّ كما كانوا يقولون فيما مضى). وسنعود إلى هذا الموضوع.

أمّا الآن فلنُشِر إلى أنّ كوكبتنا مع تابعيها، أي غيمتي ماجلان، تشكّل جزءاً من «مجموعة محليـّة» صغيرة من الكوكبات الّتي نعرف منها اليوم أكثر من عشرين عضواً، والّتي تمتدّ على مسافة ثلاثة مليارات سنة ضوئيـّة تقريباً (الجدول أ).

ونحن نعرف منذ زمن قديم أهم هذه الأعضاء. فإلى جانب التوائم الثلاثة المذكورة توجد توائم ثلاثة أُخرى لا تقلّ عنها أهميّة وتتألّف من كوكبة مسّيه ٣١ المرأة المسلسلة وهي ككوكبتنا من الشكل S_b ومن تابعيها الإهليلجيي الشكل مسّيه ٣٢ وNGC ٢٠٥ . وتدل آخر القياسات أن هذه التوائم الثلاثة تقع منّا على مسافة ٢٢٥٠٠٠٠ سنة ضوئيـّة.

وتحتوي المجموعة المحلية أيضاً على كوكبة لولبية هي مسيه ٣٣ المثلث من الشكل S_b تقع في اتجاه قريب من اتجاه مسيه ٣١ وعلى مسافة قريبة من مسافته.

وإلى جانب غيمتي ماجلان، المصنفتين رسمياً مع الكوكبات غير المنتظمة، تحتوي المجموعة المحلية على كوكبتين أخريين غير منتظمتين هما NGC ٦٨٢٢ في الرامي، وIC ١٦١٣ في الحوت.

أما الكوكبات الإهليلجية الشكل فتفوق هذا العدد وقد أحصي منها ١٢ كوكبة. فإلى جانب تابعي مسيه ٣١ توجد صور آلة النقاش والكور الكيماوي والتنين ومزدوجة المرأة المسلسلة NGC ١٤٧ و١٨٥ ونظامان صغيران في الأسد ظهرا عام ١٩٥١ على الصفائح الفوتوغرافية لخريطة السماء

آ المجموعة المحلية

الكوكبة	الشكل	القدر الظاهر ق، ف	القدر المطلق ق ف	القدر الظاهر لأكثر النجوم اشراقاً ق، ف	القطر الظاهر	معامل الضوء	عدد الأكداس الكروية المتجمعة
١. المجرة	S^b						١٥٠
٢. مسيه ٣١	S^b	٤,٣٣	١٩,٦ –	١٦,٠	١٩٧' × ٩٢'	٠,٨٦ +	٢٥٠
٣. مسيه ٣٣	S_c	٦,١٩	١٧,٦ –	١٥,٦	٨٣' × ٥٣'	٠,٤٠	لا شيء
٤. الغيمة الكبرى ...	I_{rr}	١,٢	١٧,٤ –	١٠,٠	١٢°	٠,٥٢	عدد قليل
٥. الغيمة الصغرى...	I_{rr}	٢,٨	١٥,٨ –	؟	٨°	٠,٨٠	—
٦. NGC ٦٨٢٢.	I_{rr}	٩,٢١	١٣,٩ –	١٥,٨	٢٠' × ١٠'	؟	لا شيء
٧. IC ١٦١٣....	I_{rr}	١٠,٠٠	١٣,٧ –	١٦,٤	٢٣' × ٢٣'	٠,٣٩	—
٨. NGC ٢٠٥ ..	E	٨,٨٧	١٥,٠ –	٢٢,٤	٢٦' × ١٦'	٠,٧٢	عدد قليل
٩. مسيه ٣٢	E	٩,٠٦	١٤,٨ –	٢٢,٤	١٢' × ٨'	٠,٩٠	—
١٠. NGC ١٤٧ ..	E	١٠,٤٦	١٢,٩ –	٢٢,٠	١٨' × ١٨'	٠,٧٣	٢
١١. NGC ١٨٥..	E	١٠,١٧	١٣,٢ –	٢٢,٠	١٤' × ١٢'	٠,٧٤	١
١٢. آلة النقاش	E	٨,٨	١٠,٦ –	١٧,٨	٤٥' × ٤٠'	؟	لا شيء
١٣. الكور الكيماوي.	E	٩,١	١٢,٢ –	١٩,٢	٥٠' × ٣٥'	؟	٢
١٤. الأسد ٢	E	١٣,٢	١٠ –			٠,٨١	لا شيء
١٥. الأسد ٣	E	٩,٣	١٣ –			٠,٨٧	—
١٦. الدب الأصغر ..	E	ق' – ق ⟵	١٩,٦		⟵ ١		—
١٧. ڤولف لوندمارك...	E	ق' – ق ⟵	١٩,٦		⟵ ١		—
١٨. التنين	I_{rr}	١١,٣	١٣,٣	١٧,٣	١٣' × ١٦'	؟	
١٩. النظام القزم	ما يزال تحت الدرسة : الإحداثيات α = ١٥ س ١٤، δ = ٠° و٥٠' (اعتدال عام ١٩٥٠)						

المأخوذة من جبل پالومار ، وهما يشبهان نظام آلة النقاش . ولهاتين الكوكبتين أهمية كبيرة بالنسبة إلى وضعهما لأن كوكبتنا كانت إلى تاريخ اكتشافهما « على الطرف » في المجموعة المحلية، وكان جميع أعضاء المجموعة يرون من جهة واحدة في نصف واحد من كرة السماء . أما كوكبتا الأسد الإهليلجيتان ففي النصف الثاني من الكرة، وهما بالتالي تمدان مساحة المجموعة في اتجاه جديد وتنشلان كوكبتنا من وضعها الطرفي .

وفي عام ١٩٥٣ أضيفت كوكبات ثلاث قزمة إلى المجموعة المحلية لكننا ما زلنا نفتقر إلى معلومات بشأنها .

ومن الصعب جداً على كل حال أن نحدد المجموعة المحلية . إن لها دون شك وجوداً زخمياً وتدخل فيها الكوكبات الخاضعة لجاذبيتها . لكن هذا لا يكفي لوضع « حدود » واضحة لها لا من الناحية النظرية ولا للمقتضيات العملية . فالأجسام التي لها سرعة موجهية « مفرطة » مثلا تعتبر غريبة لكن لفظة « مفرطة » كثيرة الغموض بالطبع .

ومن ناحية أخرى يجب أيضاً أن نحدد هذا الشيء الذي نسميه « كوكبة » ونحصل على قبول شبه إجماعي لهذا التحديد .

فهل نسمي « كوكبة » كل مجموعة من النجوم لا تدخل في كوكبة معترف بها، أو تكون مثلا قد انعتقت منها ؟ فهل نطلق اسماً واحداً على عشرة نجوم طليقة أو على مائة نجم أو على ألف نجم تائه بين كوكبات تشتمل على مليارات النجوم؟ أين تقع الحدود يا ترى ؟

ولعل على هذه المشكلة أو على هذا التحديد، يقع الخلاف الناشب حول منحني الضوء، أي على الاختيار بين منحني هبّل الجرسي الشكل ومنحني زفكي ذي القطع الزائد .

ولنشر هنا إلى أن اختصاصيي جبل پالومار يحتفظون بحوالي عشرين جرما قد تضم يوماً إلى اللائحة السابقة، وهي أجرام قيد الدرس ما تزال مسافاتها موضع شك، وأكثرها صغيرة الحجم يشبه عدد منها أكداساً كروية مفتوحة ليست ذات شأن كبير (مثلNGC ٢٤١٩). فهل ينبغي أن يطلق عليها اسم « كوكبات » حتى ولو كانت بينكوكبية ؟

ونقول باختصار إن الأعضاء « المعترف بها » في المجموعة المحلية هي : ثلاث كوكبات لولبية وخمس كوكبات غير منتظمة (أو يظن أنها كذلك) واحدى عشرة كوكبة إهليلجية الشكل . وما يلفت النظر هو قلة الكوكبات اللولبية (١٥ ٪) والكوكبات غير المنتظمة (٢٥ ٪) والنسبة الكبيرة للكوكبات الإهليلجية (٦٠ ٪) .

وتثبت دراسة الأكداس الأخرى تفوق الإهليلجية عدداً . ونذكّر هنا بأن الاصطدامات في أغنى الكوكبات وأكثرها كثافة تنزع من هذه الكوكبات غازاتها فلا تظهر فيها اللولبيات مطلقاً. فجميع الكوكبات المنتظمة عِدسية الشكل .

ويفترض الاختصاصيون أن المجموعة السكنية من نجوم الكوكبات الإهليلجية شبيهة بالمجموعة السكنية في الأكداس الكروية، بل أنها نسخة طبق الأصل عنها .

وكنا نرغب في أن نتأكد من ذلك، ولذلك يجب أن نتمكن من الوصول إلى نجوم « السلسلة الرئيسية » في هذه الكوكبات ونراقب فيها الانقلاب المميز في نقطة ب من الرسم البياني للاهليلجيات (شكل ١٠) .

ولكن نجوم النقطة ب لسوء الحظ أقزام لا يفوق إشراقها إشراق شمسنا إلا قليلا (يبلغ قدرها الفوتوغرافي المطلق ق ف = ٣،٥) . وكوكبة التنين الإهليلجية وحدها قريبة منا كفاية بحيث نؤمل الوصول إلى النقطة ب من جبل پالومار بفضل التلسكوب البالغ قطرعدسته ٥،٠٨ م ونحقق المطابقة المرغوبة . ذلك إن المتغيرات RR الشلياق في نظام التنين هذا (ق ف = ٠) تبدو في تلسكوب شمت البالغ قطرعدسته ١،٢٢ بقدر ظاهر ق' = ١٩،٧ . ولما كانت نجوم النقطة ب أصغر من ذلك بثلاثة أقدار ونصف القدر، لا بد من أن نتوقع ظهورها عند القدر الظاهر ق' = ٢٣،٢ . وتلسكوب هالِه هو الآلة الوحيدة التي تستطيع أن تصل إلى أقدار ظاهرة بهذا الارتفاع . وهذه الدراسة هي التي يقوم بها الفلكيون اليوم وهي تبين مدى أهمية كوكبة التنين الإهليلجية .

والكوكبات الإهليلجية شفافة ولم يعثر فيها في الواقع على نجوم لا شفافية لها ولعل ذلك يعود إلى أن كثافة الغاز فيها ضئيلة إلى حد أن الغبار لم يتكون فيها. أما السدم ذات البث التي لوحظت فيها أحياناً فهي بدون شك ناتجة عن خطإ

في تحقيق نوعها، فإما أن تكون خطوط البث التي أشير إليها ناجمة عن مجرد « سدم سيارية » أي عن نجوم ذات جو واسع الانتشار أو أن الإهليلجيات المزعومة ليست سوى لولبيات لم تعرف حقيقتها ذات نواة دقيقة ولولبات قليلة الوضوح. وقد أكد الاختصاصي الكبير في الموضوع وهو ڤالتر باده أنه لا يعرف كوكبة إهليلجية واحدة لها سديمية مميزة.

وسنصف على سبيل الاستدلال بشيء من الإسهاب توابع المجرّة وغيمتي ماجلاّن والكوكبة اللولبيّة الكبرى مسّيه ٣١.

٥. غيمتا ماجلاّن

تبدو غيمتا ماجلان بالقرب من القطب السماوي الجنوبي كقطعتين فصلتا من المجرة، شكلهما على شيء من الاستدارة، مع عدم انتظام في اللمعان يلفت النظر.

وتمتد الغيمة الكبرى، في صورة أبي سيف بقطر يبلغ ٧ أو ٨ درجات على عرض مجري جنوبي يبلغ ٣٠ درجة تقريباً. ويقدر قدره الفوتوغرافي الظاهر بـ ١,٢ (وهو القدر الأول). ونحن لا نتكلم هنا إلا عن الجسم الرئيسي دون أن نأتي على ذكر الامتدادات القليلة الضياء (التي تصل بالقطر إلى ٢٠ درجة).

أما الغيمة الصغرى، في الطوقان، فتبدو بنصف هذا العرض وباشراق أقل بكثير من إشراق الغيمة الكبرى. وهي تعتبر من القدر الثالث (ق ف = ٢,٨) وتقع على ٤٥ درجة عرضاً جنوبي المجرة.

وتبعد كل من هاتين الغيمتين عنا المسافة ذاتها أي ما يقارب الـ ١٧٥٠٠٠ س. ض. ويستند هذا الرقم إلى دراسة القيفاوسات والمتغيرات RR الشلياق والأكداس الكروية التي عثر عليها في هاتين الغيمتين أو في جوارهما المباشر، وقد أخذ بعين الاعتبار، في هذه النتيجة، الامتصاص العادي من قبل المواد البينكوكبية. ولم يراع في هذا الحساب أي امتصاص خاص من قبل مواد مظلمة قد تكون موجودة في الفضاء بين الغيمتين ومجرتنا، لأننا لا نعرف شيئاً حول هذا الموضوع. والحال أننا سنرى أن « جسوراً من المادة » اكتشفت أخيراً تصل، على ما يبدو، بين الغيمتين ونظامنا المجري. فالمسافة التي ذكرناها معرضة للتعديل إذا كان هذا العامل الجديد يؤثر في اللمعان تأثيراً ملموساً.

ومهما يكن من أمر فإن طول مسافة هاتين الغيمتين يجعل منهما كوكبتين يفوق حجمهما المعدل العام . وهما بالطبع تخضعان لجاذبية مجرتنا القوية ويمكن أن تعتبرا تابعين من توابعها. لكنه من الخطإ أن نعتبرها مجرد قطعتين انفصلتا عن المجرة، ويكفي بعد خطوط عرضهما لإظهار صعوبة هذا الافتراض .

فهما إذن كوكبتان مستقلتان بذاتهما لكنهما مجتمعتان مع كوكبتنا ومجتمعتان معاً كما سنرى .

وقد صنفت الغيمتان ردحاً طويلا من الزمن بين الكوكبات غير المنتظمة، لكنه لا يستبعد أن تكونا لولبيتين عارضيتين من نوع خاص . ولدراستهما المفصلة قيمة ظاهرة بالنسبة إلى علم الفلك. فبفضلهما اكتشفت العلاقة بين الدور واللمعان عند القيفاوسات، ولو كان العلماء اهتدوا باكراً إلى كونهما كوكبتين لكان علم الفلك، حسب رأي شابله، وفر عشرات السنوات من التلمس.

والغيمتان مختلفتان كل الاختلاف .

فالغيمة الكبري تحتوي على عدد كبير من النجوم الجبارة الكبرى من زرقاء وحمراء وكثير من السدم الغازية ذات البث تعتبر من أقوى سدم السماء (منها سديم العنكبوت) وعدد كبير من القيفاوسات المتميزة . وهي حافلة بالغبار الماص الذي يحجب أنظار أبعد الكوكبات الموجودة وراءه، وليس فيه نجم واحد متغير قصير الدور (من نوع RR الشلياق) . ويعتبر الفلكيون أن للغيمة الكبرى مجموعة سكنية من النوع ١ تكاد تكون صافية .

غير أن لها توابع من بعض الأكداس الكروية (المجموعة السكنية ٢)، ومن الممكن أن تكون قد صادفتها في طريقها وضمتها إليها .

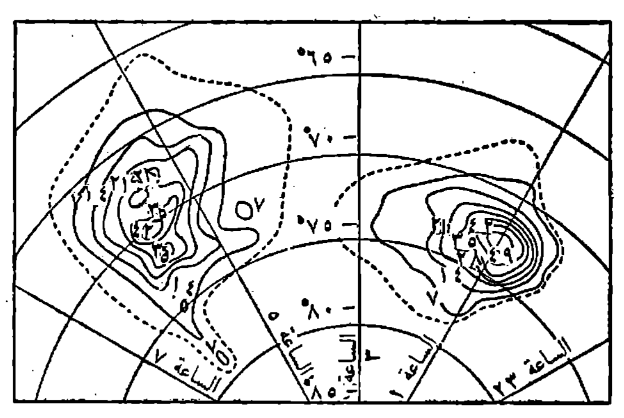
أما الغيمة الصغيرة فمختلفة . فهي خالية من الغبار شفافة تمكن من رؤية الكوكبات البعيدة من خلالها دون أن تقلل من لمعانها أو أن تغير لونها تغييراً يذكر. فتنسب إليها إذن مجموعة سكنية معظمها من النوع ٢ . غير أن فيها بعض السدم الغازية ذات البث من النوع ١ . فتبدو إذن مجموعتها السكنية مختلطة.

لكن أرصاد الهيدروجين اللاسلكية التي أجريت في استراليا على موجة طولها ٢١ سم جاءت بمعلومات مهمة لم تكن منتظرة .

فللغيمتين امتداد من الهيدروجين يفوق إلى حد بعيد امتداد الهيدروجين في

مجموعة نجومها المرئية وتكادان تتماسان بطرفيهما الغازيين . وبوسعنا أن نتساءل عما إذا لم يكن لهما غلاف مشترك من الهيدروجين . غير أن توزيع الغاز في الغيمة الكبرى يشبه في خطوطه الكبرى توزيع نجومها . أما مصدر الدهشة فهو الغيمة الصغرى التي كانت شفافيتها تحمل على الاعتقاد بأنها فقيرة بالغاز . والواقع أن هيدروجينها يغطي مساحة تكاد أن تعادل مساحة غاز الغيمة الكبرى وتفوق كثافة هذا الغاز في وسطها ما هو عليه في الغيمة الكبرى . أما غلافها الغازي فيمتد إلى ما وراء نجومها المرئية .

ويبدو أن كتلة الغيمة الكبرى تبلغ ملياري شمس ويقدر الاستراليون أن محتواها من الهيدروجين المنتشر يبلغ ٣٠ ٪ من هذه الكتلة . أما هيدروجين الغيمة الصغرى فيقدر بثلث هذه الكمية . غير أن هذه النتيجة لا تبلغ دقة النتيجة السابقة . ولما كانت هذه الغيمة تكاد تحوي من الهيدروجين القدر الذي تحويه الغيمة الأولى ، تكون كمية الغاز المنتشر تفوق كمية الغاز المتجمع نجوماً وقد تبلغ ضعفيها . فيكون الوضع الكوني للغيمتين مختلفاً إذن كل الاختلا ف .



الشكل ١٦ : خريطة غيمتي ماجلان المبنية على إشعاعها

ولما كانت الغيمة الكبرى غنية بالغبار وتكاد الغيمة الصغرى أن تكون خالية منه فنسبة الغبار إلى الغاز مختلفة أيضاً كل الاختلاف في كلتي الغيمتين .

وإذا كان الغبار ينشأ في الغاز، كما يظن، عن طريق تجمع الذرات (تحت تأثير الاصطدامات العفوية عبر الزمان) فإن فقد الغبار في الغيمة الصغرى يعني إما أن تكون شروط الاصطدام لم تتوافر (لأن الكثافة الخفيفة لا تمكن من تكون الجسيمات) أو أن تكون الجسيمات التي تكونت قد تحطمت.

ويبين السبر عن طريق الموجة ذات الطول ٢١ سم أن شكل الغيمة الكبرى يبدو أقل انتظاماً من شكل الغيمة الصغرى وهي مسطحة، وهاتان الصفتان تميزان المجموعة السكنية من النوع ١.

أما الغيمة الصغرى فأكثر انتظاما وتبدو كروية الشكل.

غير أن سبر الغيمتين المتعلق بالهيدروجين يأتي بنتائج جوهرية حول العلاقات التي تقيمها الجاذبية بين الغيمتين من ناحية وبينهما وبين المجرة من ناحية أخرى. فيتبين في الشكل ١٦:

"١. استطالة واضحة في الغيمة الصغرى باتجاه الغيمة الكبرى.

"٢. استطالة في الغيمة الكبرى نحو كوكبتنا مع بعض التشويه في الجهة المقابلة.

وتتفق هذه النتائج مع النتائج التي توصل إليها ڤوكولور عن طريق القياس الضوئي في خريطة للمنطقة (شكل ١٧).

ويبدو أيضاً أن لكوكبتنا ذراعاً من المواد تمتد دورياً نحو الغيمة الكبرى غير أن وجود ذراع مقابلة للذراع الأولى لم يتبين بعد بشكل واضح.

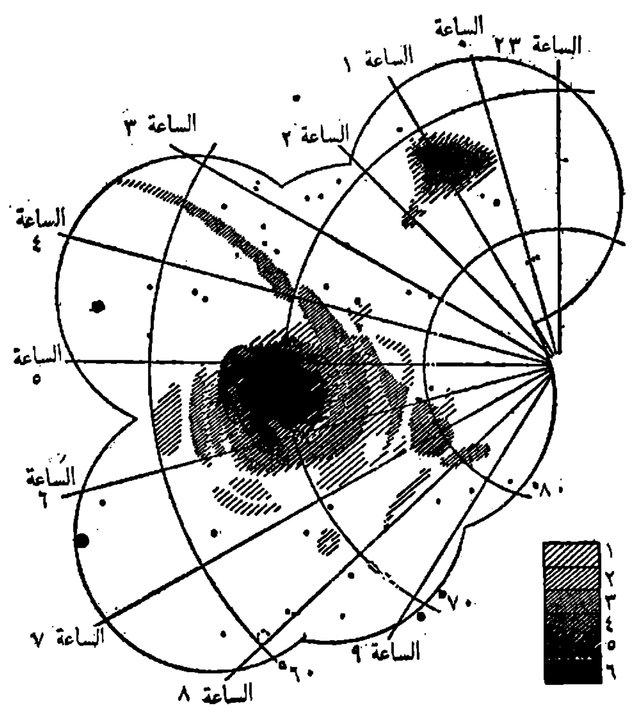
غير أن وجود هذه الظاهرات كلها يؤيده وجود علاقات واضحة بين كوكبتين متجاورتين (أو بين ثلاث كوكبات متجاورة)، وقد لفت زڤيكي النظر إلى هذه العلاقات منذ سنوات.

وتبين قياسات السرعة التي أجريت بواسطة الأطياف المرئية أو عن طريق الموجة ٢١ سم أن كلا من الغيمتين يدور حول محور. ومن ناحية أخرى تختلف السرعة الموجهية لكل من الغيمتين بالنسبة لنا بما يقرب من ٥٠ كلم في الثانية، وهذا يعني أنهما تشكلان نظاماً «ثنائياً». وحركة الشمس في الدوران المجري تبعدنا عنهما بسرعة ١٠٠ كلم في الثانية.

المجموعة السكنيّة للغيمتين. — إن القيفاوسات العديدة الموجودة في الغيمة الصغرى والتي مكنتنا من معرفة العلاقة البدائية بين الدور واللمعان وهي

العلاقة التي تعتبر المسبار الحقيقي للكون، أكثر احمراراً من القيفاوسات العادية فهي من نوع خاص (يسمى W العذراء) ويبدو أنها تميز المجموعة السكنية من النوع ٢ . أما قيفاوسات الغيمة الكبرى فهي بالعكس عادية (من النوع ٢).

وليس في الغيمة الكبرى نجم واحد متغير قصير الدور من نوع RR الشلياق (المجموعة ٢)، وفي الغيمة الصغرى قليل منها، ويبرهن هذا القليل عن وجود مجموعة سكنية من النوع ٢ في داخلها.



الشكل ١٧ :
خريطة المناطق الخارجية وامتدادات غيمتي ماجلان. إلى اليمين : سلم لشدة النور

وفي الغيمة الكبرى العادمة الشفافية في جميع انحائها تقريباً سدم جميلة وعمالقة عظمى كثيرة (النوع ٢) ونجمها S أبي سيف أكثر النجوم التي نعرفها لمعاناً (قدره المطلق ق ف = ١٠,٥) إذا استثنينا النجوم الجديدة العظمى .

واعظم نجوم الغيمة الصغرى تظل دون هذا اللمعان .

٦ . مسّيه ٣١ .

ليس من كوكبة اسهمت في تقدّم علم الفلك إسهام هذه اللولبيّة العملاقة من صورة المرأة المسلسلة . وبفضل تحليلها إلى عناصرها والتعرّف إلى قيفاوساتها (هبّل ، ١٩٢٣ ـ ١٩٢٤) وأكداسها الكرويّة وعمالقتها العظمى المختلفة دخلت الكوكبات في مجال العلم كوحدات سكنيّة في الكون.

وفي عام ١٩٤٠ توصل باده إلى أن يحلل ، على صفائح فوتوغرافية تتأثر بالضوء الأحمر (وخاصة بالضوء الأحمر المنبعث عن الهيدروجين) نواتها إلى نجوم واكتشاف المجموعة السكنية الأساسية أي المجموعة ٢ . ونجد هذه المجموعة أيضاً بين اللولبات . وقد بينت صفائح باده الفوتوغرافية بمحاذاة لولبات مسيه ٣١ أكثر من ستمائة سديم ذي بث والعمالقة الكبرى الخاصة بالمجموعة السكنية ١ . وامتصاص الضوء خفيف بين اللولبات حيث ترى كوكبات كثيرة ذات بعد ساحق ، وبتعبير آخر تكون الرؤية ممكنة من خلال المجموعة السكنية ٢ الخالية من الغبار ، أما لولبات مسيه ٣١ فهي بالعكس غير شفافة وملأى بالغبار الماص الذي يحمله الغاز . وقد بين باده أن الغاز وغباره يشكلان الظاهرة الأولية وهما اللذان يعطيان اللولبات شكلها ويمكن متابعة تخطيطها حتّى داخل النواة . وقد نشأت فيها العمالقة العظمى وهي ظاهرات ثانوية . ومجرد وجود العمالقة العظمى في اللولبات (وهي ذات حياة قصيرة) يعني أنها ما تزال تتكون فيها في أيامنا هذه .

وعلى الرغم من المظهر الواضح للولبات مسيه ٣١ ، يثبت القياس الضوئي أن هذه اللولبات تنتج أقل من ٢٠ ٪ من الضوء الكلي لمسيه ٣١ .

وقد مكنت الدراسات الحديثة من اكتشاف نواح مترامية الأطراف لمسيه ٣١ تتكون من مجموعات سكنية من النوع ٢ لكنها لا تلفت الأنظار .

٧ . توزيع الكوكبات

أظهرت الإحصاءات الأُولى للكوكبات أنّها تتجمّع خاصّة في النصف الشماليّ من الكرة السماويّة . فنجد في الدرجة المربّعة أربعاً وخمسين كوكبة حتى القدر الفوتوغرافيّ الظاهر ١٧,٥ ولا نجد في النصف الجنوبيّ إلاّ ستّاً وعشرين . وهذا التوزيع غير المتماثل عرضيّ يفسّره إلى حدّ كبير وجود أكداس عدّة غزيرة وقريبة نسبيّاً ككدس العذراء في النصف الشماليّ . لكنّنا إذا وصلنا إلى القدر ١٩ يزول هذا الفرق ، ويظلّ التوازن قائماً حتى حدود الرؤية (ق، = ٢٣ حاليّاً) . وهذه النتائج تتناول خمس مائة مليون كوكبة ويأخذ التجانس في أنحاء الفضاء ، من حيث مجموعاته السكنيّة ، معنى ذا مغزى عندما يتناول عدداً كبيراً إلى هذا الحدّ . فنستطيع القول إنّ توزيع الكوكبات يبدو منتظماً تقريباً إن في الاتّجاه أو في العمق . ولا يوجد فارق مهمّ (على الرغم من بعض التأكيدات المخالفة) يمكن أن يؤخذ أساساً لعلم كون مبنيّ على عدم التجانس ، وبمعنى آخر ليس ما يمكّننا من الاعتقاد بأنّنا كيفما اتجهنا نقترب من « مركز » تجمّع أو بالعكس من « طرف » لنظام الكوكبات . وأبسط صورة وأصحّها هي صورة فضاء إقليدسي تشغله الكوكبات بانتظام (مع فوارق كبيرة في التفاصيل نأتي الآن على تفسيرها) .

إلى أيّة مسافة يظلّ ما قلناه حتى الآن صحيحاً ؟ إن

تلسكوب جبل پالومار الجبّار يمكّن دون شكّ من رؤية كوكبة متوسطة على مسافة ١,٥ مليار سنة ضوئيّة. لكن لهذه الآلة وللآلات المشابهة مجالاً بصريّاً ضيّقاً جدّاً (لا يتعدّى ١ ٪ من قرص القمر) ويحتاج إلى آلاف السنين لاستكشاف قبّة السماء بكاملها. والآلات التي تمكّن من الإحصاءات هي تلسكوبات شمت الواسعة المجال. ويوجد على جبل پالومار تلسكوب شمت قطر عدسته ١,٢٢ م وهو يعمل منذ عام ١٩٤٩. ويبلغ مجاله ٤٠° على كل صفيحة (أي مائة وستين مرّة مساحة القمر عندما يكون بدراً). وقد تمكّن في خلال أربع سنوات من أن يسجّل بلونين مختلفين كلّ السماء المرئيّة من النقطة التي يعمل فيها، ومنذ الآن نستطيع القول إن النتائج التي أحرزها تثبت تجانس توزيع المجموعات السكنيّة في الفضاء إلى مسافة بضعة مليارات من السنين الضوئيّة.

وهذه النتيجة تحملنا على الاعتقاد بأن الكون يتألّف في آخر المطاف من نظام الكوكبات وبتعبير آخر إنّنا نسلّم بأنّ الكون لا يقوم إلاّ على كوكبات موزعة في أرجائه توزيعاً يكاد أن يكون متجانساً. وتزداد هذه النتيجة احتمالاً بقدر ما تتسع الآفاق التي نستكشفها. والمرحلة التي حوّلت أنظارنا من حقل النجوم إلى حقل الكوكبات تشكّل بدون ريب تقدّماً حاسماً ونهائيّاً. والظروف التي رافقت الاكتشاف التدريجي

لخصائص الكوكبات لا تحملنا منطقيّاً على الأمل بتبدّل مفاجئ في وجهة النظر هذه.

أكداس الكوكبات. — لقد لوحظ منذ زمن بعيد أن الكوكبات تميل إلى الإنضمام في مجموعات صغيرة. ثم عثر على بضع عشرات من الأكداس الكبيرة التي تضم آلاف الكوكبات في تشكيلات متراصّة. وقد قلنا إن وجود أكداس كبيرة شماليّة قد أعطى النصف الشماليّ من الكرة السماويّة الأسبقيّة في بادئ الأمر قبل أن تكون الإحصاءات قد شملت مجالا واسعاً.

ويبدو أن وجود الأكداس يفسد نتائجنا المتعلّقة بتجانس المجموعات السكنيّة في الفضاء، غير أن الحقيقة بعكس ذلك، فالتجانس يتناول مجالاً واسعاً يجعل أثر الأكداس غير ذي شأن. وعندما ندخل في الحساب كميّات كبيرة من الأكداس، كما سنرى، نصل إلى تجانس من نوع أعلى أي إلى تجانس في توزيع الأكداس.

ذكرنا أن تلسكوب شمت البالغ قطر عدسته ١٢٢ سم والعامل في جبل پالومار قد وضع خريطة للسماء المرئيّة من المنطقة التي يعمل فيها ظهر فيها أكثر من ستمائة كدس كبير من الكوكبات.

وقد تمّ مؤخّراً وضع خريطة جديدة في مرصد ليك بكليفورنيا بواسطة نظّارة أصغر من تلسكوب شمت،

لكنّ دراسة الوثائق بلغت حدّاً أكبر من التقدّم، وبيّنت أن كلّ كدس يبلغ حجماً أكبر بكثير مما كنّا نتصوّر. فالجاذبيّة تؤدّي إلى نوع من التصفية في داخل الكدس بجمّع حول مركز المجموعة أكثر الكوكبات كثافة وأقواها لمعاناً. وتستطيع الأجرام الخفيفة والسريعة أن تطيل مسيرها وتلتقي بوفرة بعيداً عن المركز. وفي البدء كان تجمّع الكوكبات الكبيرة المتراصّة التي تشكّل نواة الكدس وحده يسترعي الانتباه. غير أن الإخصاءات الموسّعة عن طريق دوائر موحّدة المركز كشفت عن امتدادات واسعة للأكداس وعن وفرة الأجرام الصغيرة.

والإحصاءات التي تمّت بواسطة تلسكوب شمت (١٢٢ سم) في جبل پالومار (وعلى الأخصّ إحصاءات زڤيكي) والتي وصلت إلى القدر ١٩ تدل على أن قطر الاكداس الذي كان قد نُشر ينبغي أن يُضرب بثلاثة وأحياناً بثمانية أو بعشرة، وتتزايد المجموعات السكنيّة بشكل مدهش.

وهكذا كان يظنّ أنّ كدس الذؤابة ١ الذي سمّاه وُلف قديماً نيبلنِست (عشّ السّدُم) والتي تبلغ أكبر كوكباته القدر ١٣,٢ و ١٣,٥ يمتدّ على ١,٧° ويحتوي على ثمانمائة كوكبة وقد بيّن زڤيكي أن قطره لا يقلّ عن ١٢° وأنّه يضمّ تسعة آلاف كوكبة تصل إلى القدر ١٩ (بالإضافة إلى العدد الموجود في الحقل العامّ المجاور). وتبلغ مسافة الكدس

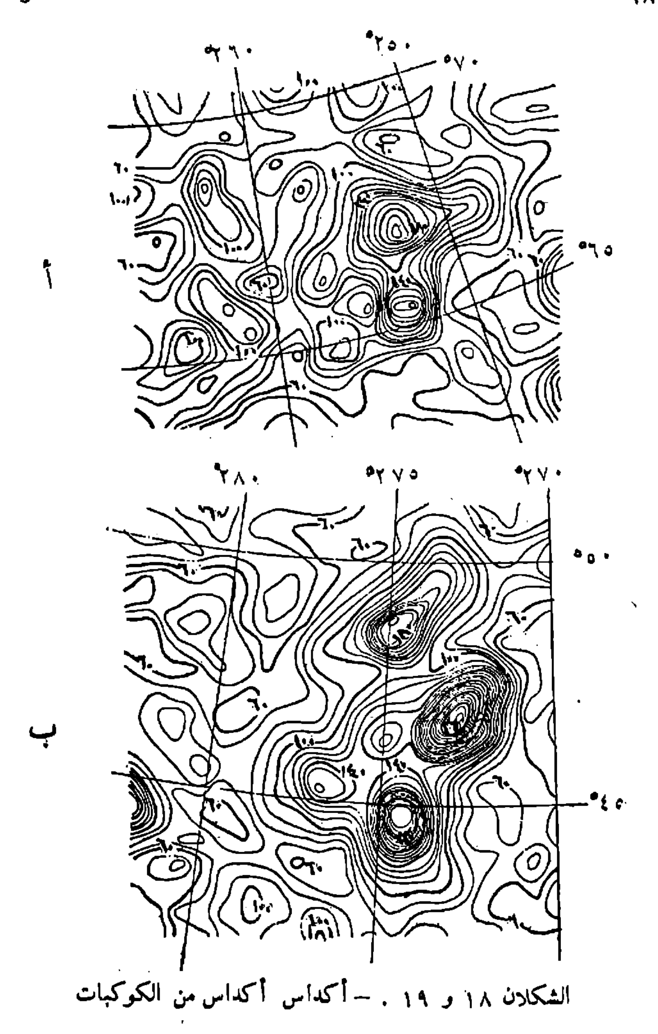
٢٥٠ مليون سنة ضوئيّة فيكون قطره الحقيقيّ والحالة هذه يربو على ٥٠ مليون سنة ضوئيّة .

وفي الوقت ذاته بدت الأكداس من الوفرة بحيث يبدو أنها تتماس إذا أخذنا بعين الاعتبار الحجم الجديد لكل منها .

ويمكننا أن نتصوّر أنّ كوكبة سريعة تفلت من الكدس الأصليّ وتصبح حرّة نسبيّاً . ولكن علينا أن نتساءل عمّا إذا كانت ثمّة الكفاية من « المجال الحر » بين الأكداس وعمّا إذا كانت هذه الكوكبة لا تلبث أن تقع تحت سيطرة كدس مجاور . ومهما يكن من أمر فقد أصبح من الثابت اليوم أنّ الكوكبات تدخل بمعظمها في أكداس تتوزّع مراكزها توزيعاً يكاد أن يكون متجانساً .

لكن هذا التجانس يشوبه نقص ناجم عن اكتشاف حديث العهد مفاده أن الأكداس تتجمّع بدورها أكداساً (فالأكداس المجاورة تتجمّع اثنين اثنين أو ثلاثة ثلاثة أو أكثر) .

وعلى سبيل المثال يمثّل الشكلان ١٨ و١٩، نقلاً عن خريطة ليك، منطقتين من السماء رُسمت فيهما من عشرة إلى عشرة المنحنيات ذات الكثافة الواحدة في الكوكبات (وهي شبيهة بمنحنيات التسوية في الخرائط الجغرافية). وتبدو أضعف الكوكبات (ذات القدر ١٨،٣) في هاتين المنطقتين بكثافة معدّلها ثمانون كوكبة في الدرجة المربّعة (وتتراوح بين ٦٠ و ١٠٠ بالنسبة إلى الموضع) . والأرقام، من أربعين



الشكلان ١٨ و ١٩ . — أكداس من الكوكبات

إلى أربعين، التي وضعت على بعض المنحنيات تعيّز حزمة المنحنيات ذات الكثافة المحليّة. وتظهر الأكداس على خريطة السماء كما تظهر الجبال على الخريطة الجغرافيّة فتتجمّع المنحنيات حول نقطة أوج. وفي المنطقة الأولى (أ) (١٥° مربّعة) توجده خمسمائة كوكبة فائضة موزّعة في تجمّعين رئيسيّين، وتبلغ الكثافة ٢٠٠ في القمّة العليا و ١٨٠ في الثانية.

وتمتدّ المنطقة السفلى (ب) على ٢٥° مربّعة تتجمّع فيها ١٤٠٠ كوكبة، بالإضافة إلى المعدّل العام، موزّعة على ثلاثة أكداس متجاورة (الكثافة القصوى لكلّ منها ٢٠٠ و٢٨٠ و٢٥٠ جرم في الدرجة المربعة — و٨٠ بالنسبة إلى المستوي الوسطيّ). ويلاحظ تكثّفان صغيران (أوجهما ١٦٠) يقعان بالقرب من الثلاثة الكبرى وعلى هامشها، إذا صحّ هذا التعبير.

وعلى سبيل الاستدلال نستطيع أن نحدّد مسافة هذه الأكداس الخمسة المتجمّعة بمائتيّ مليون سنة ضوئيّة.

ولا ينقص قطر الأكداس الجديرة بالانتباه عن مليون سنة ضوئيّة ويبلغ خمسة أو ستة ملايين في الأكداس المتوسّطة ويتعدّى العشرة ملايين س. ض. في الأكداس الكبرى. وقد اقترحنا ٥٠ مليون سنة لطول قطر كدس الذؤابة ١ (ص ٩٨).

وقد مثّلت أكداس الكوكبات لأوّل وهلة دوراً مهمّاً في علم الكون. فباستطاعة كدس غنيّ أن يقدّم مجموعة

كاملة من نماذج الكوكبات ومعلومات حول تواترها واللمعان النسبي لأنواع الكوكبات المختلفة. وقد دلّت الأكداس «المتجاورة» على أنّ للكوكبات ذات اللمعان الأقصى في كلّ كدس غزير لمعاناً «معياراً» يمكّن من سبر الكون. وبتعبير آخر يوجد «حدّ أعلى» للمعان على الرغم من التفاوت الكبير في لمعان الكوكبات (الذي يتراوح بين ١ و١٠٠٠ أو ١٠٠٠٠ أو أكثر).

ومع ذلك فقد لا تكون جميع الأكداس مجموعات من الكوكبات ذات الصفات المميّزة الكاملة بقدر ما كان يظنّ فيها في بادئ الأمر. فلا يوجد في الأكداس الغزيرة المتراصّة سوى كوكبات «عدسيّة الشكل» خالية من اللولبات. وقد أدّت تصادماتها (أو انصاف تصادماتها) إلى حرمان هذه الكوكبات من غازاتها فغدت تتابع سيرها فقيرة: وهذه هي نظرية باده وشبيتسر.

ففي كدس الإكليل الشماليّ مثلاً الواقع على مسافة ٨٥٠ مليون سنة ضوئيّة تقريباً، (شكل ١٥) لا نشاهد إلاّ مرادن ذات نواة مركزيّة شديدة الكثافة. ونلاحظ جميع درجات التسطيح العاديّة لكنّنا لا نجد لولبات مطلقاً ولا خطوطاً استوائيّة مظلمة. وكلّما ازداد التسطح وامتدّ المردن طولاً تضاءلت النواة المركزيّة، فالمجموعة هنا تشبه المجموعة الكلاسيكيّة، غير أن فقد الغاز يبدّل مظهرها تبديلاً تامّاً.

الفصل الخامس

زيحان طيف الكوكبات

لقد وصفنا الظاهرة المعروفة باسم أثر دوپلر – فيزو وهي أن الحركة الموجهيّة لكوكب ما بالنسبة إلى المراقب تؤدّي إلى حيد في الطيف حيداً يتناسب طرداً مع السرعة النسبيّة للجرم. وإذا كانت هذه الحركة ابتعاداً يحصل الحيد باتجاه الطرف الأحمر من الطيف.

ويبدو في أطياف الكوكبات حيد نحو الأحمر كما لو كانت تبتعد عن المراقب أو بالأحرى من مجرّتنا (شكل ٢٠). وتظهر في هذا الحيد جميع خصائص أثر دوپلر – فيزو (وبوجه خاصّ تظلّ النسبة $\frac{\Delta\lambda}{\lambda}$ مستقلّة عن طول الموجة التي نختارها في الطيف – ويصحّ التحقيق من ذلك حتى ١ ٪).

غير أن لهذا الحيد خاصيّة «مذهلة» مستقلة عن أثر دوپلر، وهي أنّه يتناسب طرداً مع بُعد الكوكبة موضوع الدراسة كما لو كانت لهذه الكوكبة سرعة تتناسب طرداً مع بُعدها.

ويحقّ لنا في كلّ حال أن نصف الحيد نحو الأحمر

بالتعبير عن « السرعة » التي توافقه لو كان الأمر يتعلّق بأثر عادي لدوپلر – فيزو. ولكن للدلالة على أنّنا أمام ظاهرة معقّدة، تدخل في حسابها المسافة التي لا تدخل في حساب أثر دوپلر – فيزو، نسمّي السرعة الرمزيّة « سرعة الانحسار ».

والتسليم بانحسار حقيقيّ يفسّر زيحان الطيف لكن هذا الانحسار يفترض تمدّداً في نظام الكوكبات علينا أن نجد علّته.

ولكنّنا إذا رفضنا التسليم بالانحسار يظلّ الاحمرار الغريب في نور الكوكبات بدون تفسير، وهو احمرار لوحظ منذ أكثر من أربعين سنة. وكلّ تفسير آخر اقتُرح حتى الآن لا يُرضي العقل.

لذلك يعتبر مؤلّف هذا الكتاب وأكثر علماء الفلك المعاصرين الانحسار ظاهرة حقيقيّة، وما يعزّز هذا الاعتقاد هو أنّ اعتبارات نظريّة تحمل أيضاً على اعتبار الكون غير مستقرّ وفي تمدّد دائم. ويستحقّ اكتشاف هذه الظاهرة الأساسيّة بعض التفصيل.

إنّ رائد هذه الفكرة هو سليفر، من مرصد فلاغستاف (أريزونا)، الذي حدّد بين عامي ١٩١٢ و ١٩٢٢ اثنتين وأربعين سرعة موجهيّة لكوكبات ورأى أنّها كلّها تقريباً موجبة تبلغ أقصاها ١٨٠٠ كلم في الثانية (والسرعة الموجبة تعني سرعة ابتعاد).

وقد فُسّر العدد القليل من الحالات الشاذّة في الكوكبات

القريبة بدوران مجرّتنا . وهكذا يقترب مسّيه ٣١ منّا بسرعة ٣٠٠ كلم في الثانية « خاصّة » لأن الدوران المجرّيّ يحملنا في اتّجاهه بسرعة ٢٥٠ كلم في الثانية تقريباً . ويفسّر الفرق بالحركة الانتقاليّة النسبيّة التي يخضع لها مسّيه ٣١ ومجرّتنا في المجموعة المحليّة .

وعندما اكتشف هبّل القيفاوسات في الكوكبات المجاورة (١٩٢٣ - ١٩٢٤) راح يسعى إلى قياس مسافات جميع الكوكبات التي كان سليفر قد حصل على سرعاتها الموجهيّة وذلك بمعايرة النجوم العملاقة العظمى في هذه الكوكبات . وفي عام ١٩٢٨ نشر قانون الانزياح الطيفيّ المعروف اليوم باسم قانون هبّل والذي يفسّر بـ « علاقة بين المسافة والسرعة » .

ويتناسب الزيحان طرداً مع المسافة ، أي أنّ السرعة الانحساريّة تتناسب مع البعد . وقد وضع هذا القانون ليشمل كدس العذراء أي أنّ مداه كان ٧ أو ٨ ملايين سنة ضوئيّة على ما يُظنّ . وكان يبدو أن سرعة الابتعاد تزداد بمقدار ١٦٠ كلم في الثانية كلّ مسافة مليون سنة ضوئيّة . وتبلغ سرعة ابتعاد كدس العذراء ١٢٤٠ كلم في الثانية (وهذه السرعة هي متوسّط اثنتين وثلاثين سرعة موجهة للكوكبات التي تتألّف منها) .

ونعلم اليوم أنّ المسافات التي وجدها هبّل قصيرة جدّاً ، بينما تظل السرعات على حالها . وتبدو « ثابتة الانحسار » هذه

اليوم قريبة من ٢٥ كلم في الثانية (بدلاً من ١٦٠ كلم) لمسافة مليون سنة ضوئيّة .

وقد درس هيوميسُن في جبل ويلسن بين عامي ١٩٢٨ و ١٩٣٦ ، بواسطة التلسكوب البالغ قطره ٢,٥٤ متراً السرعات الموجّهيّة لاكثر الكوكبات الإهليلجيّة لمعاناً (وهي أسهل من غيرها للدراسة) والموجودة في أكداس متزايدة البعد، بينما كان هبّل يحاول تحديد مسافاتها متّخذاً لمعان هذه الكوكبات الكبرى دلائل للمسافة .

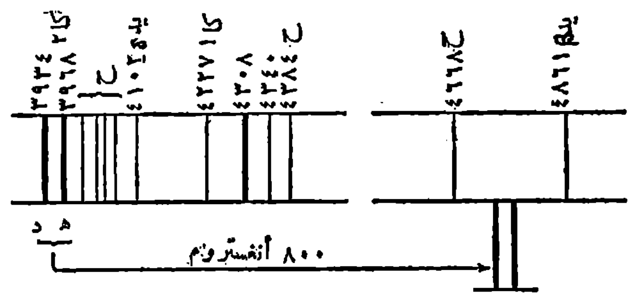
وقد بلغ الحد الأقصى للسرعة ٤٠٠٠٠ كلم في الثانية في أحد أكداس البقّار وظلّ القانون خطّيّاً .

ولبلوغ مسافات أبعد من هذه كان لا بدّ من استخدام وسائل جبل پالومار القويّة مع تلسكوب هال الكبير البالغة فتحته ٥,٠٨ م. وقد وصل هيوميسُن برقم السرعة القياسيّ إلى ٦١٠٠٠ كلم ث مع بعض اكداس الشّجاع التي تقرب مسافتها من ١١٠٠ مليون سنة ضوئيّة (شكل ٢٠) .

ويظلّ القانون « خطيّاً » في حدود أخطاء قياس السرعات غير أن هذا القياس ما يزال ناقصاً .

ولنلاحظ على الفور أن كوكبات المجموعة المحليّة، وقد قيست فيها إحدى عشرة سرعة مختلفة، لا تتعرّض لأيّ

زيحان نظاميّ في طيفها، وبتعبير آخر لا يُقام للتمدّد حساب في المجموعة المحليّة. ويبدو أنّ الجاذبيّة «الداخلية»



الشكل ٢٠ . – زيحان طيف كوكبات الشجاع .

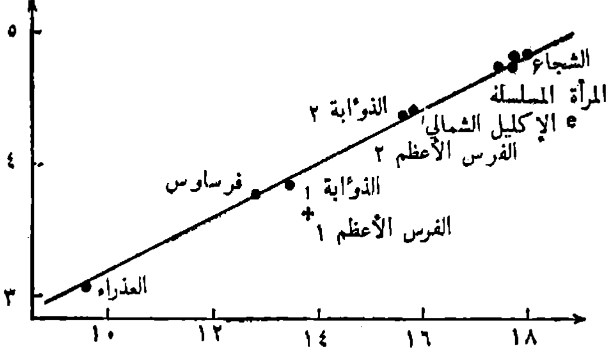
تحيد شعاعات امتصاص الكلسيوم المؤيّن كا ٢ المشار إليها بحرفي هـ و د ما يعادل ٨٠٠ أنغستروم وتبدو قريبة من شعاع بالمر يد β من طيف المقارنة .

للأكداس أقوى من «سبب» التشتّت الذي يعمل بين الأكداس، كما رأينا .

ونعرف الآن السرعة الموجّهيّة لأكثر من ألف كوكبة وهي تتراوح بانتظام بين صفر و ١٤٠٠٠٠ كلم في الثانية (أي ما يقرب من نصف سرعة الضوء) . والظاهرة متّصلة وهي تخصّ جميع أنواع الكوكبات وجميع الاتجاهات السماوية (التي يمكن بلوغها من كاليفورنيا) . والقانون يسري على نصفي كرة السماء . والقياسات التي توصل إليها هيوميسُن صحيحة بدون ريب إلى مدى ١ أو ٢ ٪ عندما تتناول

اكداساً بعيدة (لأنّ سرعات المسير داخل الكدس تصبح غير ذات أهميّة بالنسبة إلى الانحسار). ويتأيّد هذا الانحسار عندما تقاس كوكبات عدّة في الكدس ذاته.

فكدس الإكليل الشماليّ الذي أتينا على ذكره يبدو فيه تطابق ثماني سرعات موجّهيّة للكوكبات ويعود الشكّ حول العلاقة بين السرعة والمسافة إلى تقدير المسافة دون سواها.



الشكل ٢١. — العلاقة بين القدر الظاهر والسرعة في الكوكبات.

على محور السينات: لوغاريتم سرعة الانحسار.
على الإحداثي الرأسي: قدر الكوكبة العاشرة من كل كدس.

وقبل كلّ مناقشة يجب الرجوع إلى الشكل ٢١ الذي رسمه هبّل عام ١٩٥٣، قبل وفاته ببضعة أشهر. وتلاحظ فيه السرعة — أو بالاحرى لوغاريتم هذه السرعة — محمولة على الإحداثيّ الرأسيّ والقدر الظاهر لعاشر كوكبة من كل كدس (أي العاشر بالنسبة إلى اللمعان المتناقص) على محور

السينات. وهذا القدر (الضوئيّ البصريّ) يعبّر عن بعد الكدس . وقد اختار هبّل الكوكبة العاشرة بدلاً من أن يختار أكثر الكوكبات لمعاناً تجنّباً للوقوع على أجرام خارقة، فالكوكبة العاشرة معيار أكثر ثبوتاً من الأُولى .

١ . صعوبات قياس الأقدار .

تعترض قياس مسافات الكوكبات صعوبات جمّة لم يتوصّل العلم بعد إلى التغلّب عليها جميعاً ، وبدون أن ندخل في التفاصيل نرى من المنفعة أن نتعرّف إلى بعضها .

أ . — وحدة المسافة الخلفمجريّة . — نحن نعلم كيف أنّ القيفاوسات مكّنت من معرفة مسافة أقرب الكوكبات منّا وكيف أنّ هبّل استند إلى أقدارها المطلقة الّتي افترض معرفتها وعبّر تدريجاً المقاييس الّتي قادته إلى تخوم المجال الذي استكشفه .

لكنّ القيفاوسات عمالقة عظيمة نادرة، ولا توجد واحدة منها قريبة منّا بحيث يمكن الحصول على زاوية اختلاف محسوسة . فحدّد هرتسبرونغ الشدّة الضوئيّة للقيفاوسات بالاستناد إلى إحدى عشرة حركة ذاتية صغرى أخذها عن « الجدول الأوّليّ العام » لعدم توافر مرجع أفضل . وهذه النتيجة المؤقّتة (ما دامت قيمتها إحصائيّة صرفة وما دامت الحركات الذاتيّة موضع شكّ) هي الّتي ظلّت نقطة الارتكاز لمدّة طويلة .

وفي عام ١٩٥٢ تبين لباده، عن طريق دراسة مسّيه ٣١ بواسطة تلسكوب هالـه أن المسافة المعترَف بها لمسّيـه ٣١ هي نصف المسافة الحقيقيّة (تقريباً). فالقيفاوسات إذن تبعد الضعفين ولمعانها يبلغ أربعة أضعاف ممّا كان يُظنّ. فكانت مسافتنا المعياريّة إذن نصف ما يجب أن تكون. فضوعفت لذلك جميع المسافات الخلفمجرّيّة. وليس هذا الأمر بغريب في علم حديث العهد كعلم الفيزياء الفلكيّة. فلنعتبر إذن أننا «صحّحنا» هذا الخطأ. وعلى هذا الأساس وُضعت جداول أساسيّة حديثة يوثق بها تعطي بعض الحركات الذاتيّة للقيفاوسات وهي تثبت صحّة العمل الذي قام به باده. وقد جاءت بحوث أخرى عديدة تستند إلى مبادئ مختلفة ببراهين جديدة تؤيّد المعامل ٢ الذي اقترحه باده.

ولكن، لسوء الحظّ، ثمّة مجالات أُخرى للخطإ محفوفة بالأخطار منها أنّ قياس مسافة كوكبة ما يستند إلى «المقياس المعاير» (قَ – ق). فينبغي إذن أن نقيس (قَ) وهي القدر الظاهر للكوكبة وأن نعرف قدرها المطلق (ق) معرفة صحيحة.

ب. – قياس الأقدار الظاهرة (قَ). –

١) «نجوم المقارنة». – ليس قياس (قَ) بالأمر السهل. فيجب أوّلاً أن تكون لدينا نجوم للمقارنة نعرف

بالتأكيد أقدارها « المعياريّة » إلى حدود الإدراك (ق، = ٢٣,٣ حاليّاً) . والواقع أنّ هذه الجداول للنجوم الضعيفة غير متوافرة لأنّنا لم نكن بحاجة إليها فيما مضى . وقد لجأ فلكيّو جبل ويلسن إلى الحجيرات الضوئيّة الكهربائيّة لوضع جداول مضوائيّة فيها سلاسل من المراجع النجميّة وصلت أوّلاً إلى القدر الظاهر (ق، = ١٨,٥) ثمّ إلى ق، = ٢١ وهم يعملون اليوم بين ق، = ٢١ وق، = ٢٣ . وكان لرداءة نوعيّة أقدار النجوم المعياريّة التي استعملها هبّل بين عامي ١٩٣٠ و ١٩٤٠ قبل هذه البحوث الحديثة أسوأ الأثر . فليس نظام الأقدار الذي اقترحه للكوكبات غير صحيح بالنسبة إلى القيم « المطلقة » فحسب لكنّه « غير متجانس » وهنا تكمن الخطورة، لأن « تصحيحاً » واحداً (كتصحيح بادِه) لا يعود بهذه النتائج إلى قيمتها الحقيقيّة .

٢) « قياس القدر الظاهر للكوكبات » . — للكوكبات صور غير واضحة مدرّجة الإضاءة سيزداد اللمعان الكلّي بشكل محسوس عندما نأخذ بعين الاعتبار المناطق الضعيفة الإضاءة التي تحيط بالجرم الرئيسيّ . ولم يتوصل علماء الفلك إلى قياسٍ صحيح لأقدار الكوكبات إلاّ منذ سنوات قليلة . وقد أكبّ العلماء على هذا العمل في مرصدي جبل پالومار وجبل ويلسن مستخدمين الآلات الفيزيائيّة الحديثة منها الحجيرات الضوئيّة الكهربائيّة التي تستكشف صوراً «مربّعة

تحصل عن تحريك درج آلة التصوير ومن خلال مرشّحات مختلفة الألوان .

ج . ـ تحديد القدر المطلق ق للكوكبات المعياريّة . ـ لقد صحّح المعامل ٢ الذي اقترحه باده قيَم ق بنسبة ـ ١٫٥ (وهو عدد يوافق ربع لمعان السلّم المصطلح عليه).

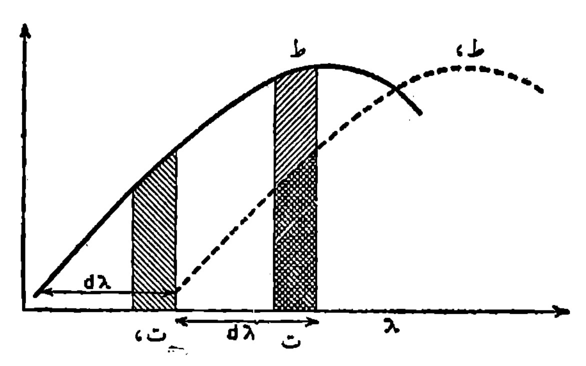
ويثير وجود ضواح ضعيفة النور صعوبات جديدة لأن الكوكبات الّتي اختيرت للمقارنة قريبة منا وتمتدّ صورها مع ضواحيها على مساحات تزيد عن مجال المرايا العاكسة المستعملة.

باستطاعة مضواء أن يلتقط بسهولة كلّ الضوء المنبثق من كوكبة بعيدة، لكنّة لا يستطيع التقاط كل الضوء المنبثق من كوكبة كمسيه ٣١ مثلاً . فيجب في هذه الحالة تجزئة الصورة وتقدير لمعان مساحات صغيرة ثمّ جمع النتائج .

ولعهد غير بعيد كان الفلكيون يقدّرون لمعان الكوكبات دون قدره بكثير .

٤ . أثر الزيحان نحو الأحمر على القدر قؤ للكوكبات . ـ تقلّ طاقة الفوتون (الضويء) عندما يزداد طول موجته . وجميع الفوتوفات الّتي تسهم في تكوين صورة كوكبة ما تضعف من جرّاء الزيحان الطيفيّ، وتساوي النسبة المئويّة لهذا الضعف الزيحان النسبيّ $\frac{\Delta\lambda}{\lambda}$ (الذي يبلغ ٢٠ ٪ في كوكبات الشجاع مثلاً) .

فيجب إذن « تصحيح » القدر ق، الذي يعطيه القياس وإيجاد القدر الذي كانت تبلغه الكوكبة لو لم يكن هذا الزيحان موجوداً، وإلاّ اعتبر ضعف الصورة ناجماً عن البعد. وليس التصحيح هنا بالأمر السهل لأن الصفيحة الفوتوغرافيّة لا تلتقط إلاّ جزءاً قليلاً من الضوء كلّه: وبالأحرى عندما نستعمل عاكسات ملوّنة يُسهم شريط ضيّق من الأشعّة ت في تكوين الصورة. ولكن بما أنّ الطيف قد انزاح فالشريط المتحرّك يلتقط الطاقة المنبثقة من ت، (شكل ٢٢).



الشكل ٢٢ . — القدر الظاهر للولبيات البعيدة

على محور السينات : طول الموجة .

على الإحداثي الرأسي : الطاقة المطابقة له .

ط : توزيع الطاقة في لولبية قريبة. — ط، : توزيع الطاقة مع زيحان قدره $d\lambda$ للولبية بعيدة. — ت : الشريط المتحرك. — ت، : الطاقة الملتقطة في الواقع .

فلتصحيح الأقدار ينبغي إذن أن نعرف المنحني ط لتوزيع الطاقة في طيف الكوكبة موضوع الدرس .

وقد أدّت دراسة منحني الضوء للكوكبة مسّيه ٣٢ الإهليلجيّة الشكل، وهي من توابع مسّيه ٣١، خلال سنوات عدّة، إلى نتائج خاطئة . السبب في ذلك يعود إلى أن لمسّيه ٣٢ منحنياً ضوئيّاً غير طبيعيّ افسده قرب مسّيه ٣١ ، ومنذ أن توجّهت الأنظار إلى كوكبة أخرى إهليلجيّة الشكل وعاديّة هي NGC ٤٣٧٤ أصبحت النتائج مقبولة .

٢ . سلّم المسافات .

ولم تكن المسافات التي اقترحها هبّل عام ١٩٣٦ متجانسة : وقد مكن المعامل ٢ الذي اقترحه باده من تصحيح نظاميّ موحّد . غير أن الصعوبات التي أتينا على ذكرها في الفقرتين الثانية والثالثة من هذا الفصل تجعل تحديد الأقدار «المنقّاة» من الآثار الطفيليّة أمراً غاية في الصعوبة .

لقد تمّ مؤخّراً في كليفورنيا تحديد الأقدار الكهرضوئيّة لثماني مائة كوكبة تُعرف سرعتها الموجّهيّة، ويقدّر الوقت اللازم لتفحّصها الدقيق بأربع سنوات، غير أن سنداج نشر النتائج العامّة التالية التي تبدو لنا جوهريّة :

١ً . يظل قانون هبّل «خطيّاً» إلى مسافة تربوستين مرّة تقريباً على المسافة التي كانت تُطبّق عليها عام ١٩٢٨ ؛

٢ً. تبلغ قيمة الانحسار المصحّح ٢٥ كلم في الثانية لمسافة مليون سنة ضوئيّة (بدلاً من ١٦٠ كلم اقترحها هبّل عام ١٩٣٦).

٣ً. تصحّ العلاقة في جميع اتجاهات الفضاء ويمكن التحقّق من صحتها دون انقطاع من الأقرب إلى الأبعد. فالعلاقة بتعبير آخر متساوية الخصائص في جميع الاتّجاهات ومتجانسة.

٤ً. يبدو أن المعامل المتوسّط لتضعيف المسافات هو ٦ (بما فيه معامل بادِه).

لكنّ هذا المعامل يتغيّر بالنسبة إلى الموضوع لأن النتائج الأوليّة لم تكن متجانسة. فكتلة العذراء تقع على مسافة ٥٠ مليون سنة ضوئيّة (بدلاً من ٧ ملايين سنة) والمجموعة التي تحوي سديم مسيّه ٨١ الجميل في الدبّ الأكبر تفرض المعامل ٤ (فتكون مسافتها ٧ ملايين سنة ضوئيّة بدلاً من ١,٧ كما اقترح ذلك هبّل).

١. **بحوث و. أ. بَوم الحديثة**. — لقد مكّنت طريقة الطيوف علم الفلك من أن يقيس بدقّة سرعات كوكبات تبلغ ٦٠٠٠٠ كلم في الثانية أي ما يعادل عشري مسافة الضوء. وتطابق النتيجة القصوى لهذا القياس كتلة من الكوكبات يتراوح قدر أكثر أعضائها لمعاناً بين ١٧ و ١٨. وفي جبل پالومار نفسه لم يتوصل الفلكيون إلى أن يذهبوا في دراسة الطيوف إلى أبعد من ذلك بسبب ضياء السماء الليليّة الذي يغشّي الصور الفوتوغرافيّة ويمنع من تمييز طيوف الكوكبات الضعيفة. ومع ذلك يمكن الحصول على صور

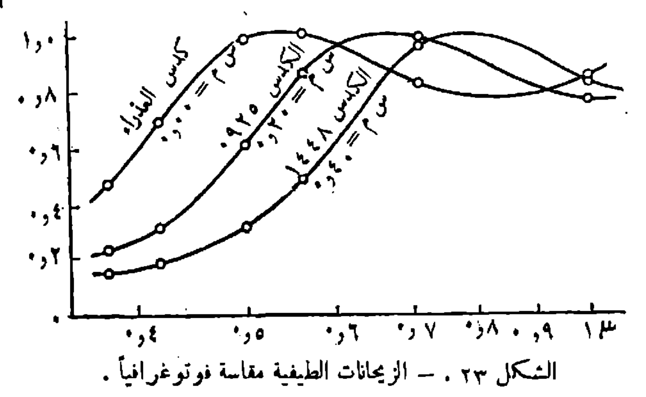
كوكبات (لكنها غير موزّعة في طيوف) أضعف منها مائة مرّة (أي إلى القدر ق، = ٢٣) .

وقد تصور و. أ . بَوم طريقة كهرضوئيـة، غنيّة بالوعود لقياس زيحان الطيف دون تشتيت الضوء . فالمنحني ط (شكل ٢٢) يمكن تعيينه بواسطة عدد قليل من النقط (ستّ في الواقع) . فالقضيـّة تعود إلى قياس الطاقة الملتقطة من كوكبة في ستة مجالات مختلفة تحدّدها ست عاكسات ملوّنة مختلفة (فاصلة فوق البنفسجيـّة وفاصلة زرقاء وفاصلة خضراء وفاصلة صفراء وفاصلة حمراء وفاصلة تحت الحمراء) . صحيح أنّ توسّط عاكس يرشّح « لونا » معيّناً يقلّل من الطاقة الملتقطة ، لكن ذلك يظلّ دون ما يحصل عن تشتّت كامل؛ ومن ناحية أخرى تتوصل الخلايا الكهرضوئيـّة إلى درجة تمكّنها من تكبير الطاقة مليار مرّة تقريباً ، بحيث يظلّ بالإمكان قياس الطاقة المرشّحة إلى أربعة أقدار دون الأقدار التي تصل إليها مرسمة الطيف .

وقد درس بَوم في أوّل تطبيق لطريقته، منحني ضوء كوكبتين اهليلجيتي الشكل من القدر التاسع عشر في كدس بعيد جدّاً (رقم ١٤٤٨) وقارنه مع منحني كوكبات العذراء ومنحني أحد الأكداس الذي كان يحتفظ بالرقم القياسيّ للسرعة (الكدس رقم ٩٢٥) .

وتظهر نتائج هذه المقارنة في الشكل ٢٣. فزيحان المنحنيين الأخيرين نحو اليمين بالنسبة إلى منحني العذراء يلفت النظر

ويبدو الزيحان الأخير ضعفي المنحني السابق له . وبتعبير آخر نقول إن الكدس ١٤٤٨ يبتعد بسرعة ١٢٠٠٠٠ كلم



الشكل ٢٣ . — الزيحانات الطيفية مقاسة فوتوغرافياً .

في الثانية أي أربعة أعشار سرعة الضوء ، وهذه النتيجة تجعل الخط المستقيم المرسوم في الشكل ٢١ يمتدّ امتداداً كبيراً . وتظل العلاقة بين القدر والسرعة علاقة خطيّة في مجال فضائيّ يُضرب بـ ٨ . ولا نلاحظ أيّ انحناء في العلاقة البيانيّة لا في الاتّجاه الأعلى ولا في الاتّجاه الأسفل .

٢ . الرقم القياسيّ الحاليّ لمسافة الكوكبات وسرعتها . —

إنه أصعب علينا ، في الوقت الحاضر ، « اختيار الكوكبات الجديرة بالاهتمام » من البحث عن سرعتها ومسافتها . فتلسكوب جبل پالومار البالغة فتحته ٥,٠٨ م ، وهو الآلة الملائمة لهذه البحوث لا يستكشف إلاّ مجالاً ضيّقاً (لا يتعدى بضعة دقائق الدرجة) . فهو لا يصلح إذن لتفحّص

السماء وفقاً للمصادفة، بل ينبغي أن يوجّه إلى المنطقة الجديرة بالعناية. وأوسع استكشاف للسماء بكاملها قد لخّص في « أطلس السماء » حيث نجد صوراً بلونين أُخذت بواسطة تلسكوب سميت الواسع المجال والبالغة فتحته ١٢٠ سم. لكنّ صور هذا الأطلس تقف عند القدر ٢٠ أو القدر ٢١ (حسب اللون). أمّا تلسكوب جبل پالومار فيصل إلى القدر ٢٣ لكنّه يجهل وجهة التصويب.

لكنّ علماء الفلك الإشعاعي أشاروا عام ١٩٥٩ إلى وجود ينبوع إشعاع فلكيّ في صورة البقّار لا يطابقه أيّ جسم بصريّ. وقد ظهر في صورة أُخذت بواسطة تلسكوب جبل پالومار، في مكان ينبوع الإشعاع كدس يحوي ما يقرب من الستين كوكبة دون القدر ٢١ تكاد لا ترى إلاّ بشكل ظلال رمادية. وقد بدا أكبر جسم فيها، وهو من القدر ٢٠,٩، ينبوع هذا الإشعاع، وقد حاول علماء الفلك أن يحصلوا على طيف هذا الضوء وهو أضعف بمليون مرّة من أضعف نجم يرى بالعين المجرّدة.

وقد نجح منكوفسكي في هذه العمليّة الصعبة. وتبيّن أن سرعة هذه الكوكبة تبلغ ١٣٨٠٠٠ كلم في الثانية، ويقدّر بعدها بستّة مليارات سنة ضوئيّة.

٣. المادة بين الكوكبات

عندما حاولنا حتّى الآن تقدير معدّل كثافة الكون وقياس أقدار كوكباته وألوانها، لم نشر إلى المادة البينكوكبيّة.

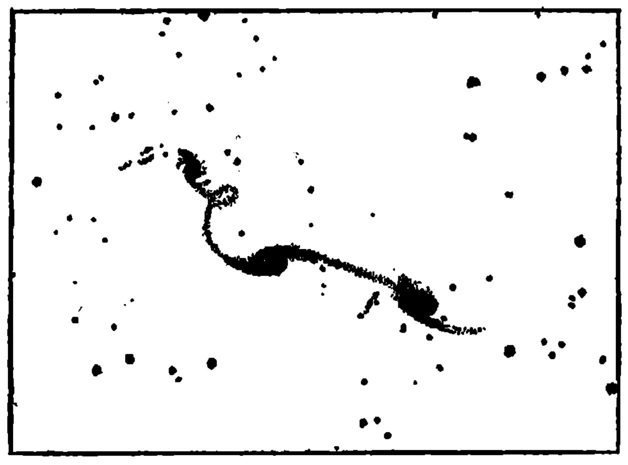
لكنّ هذه المادّة موجودة، وقد أعطانا زفيكي عن وجودها براهين عدّة. ونحن الآن في وضع علماء الفلك الذين كانوا يدرسون المجرّة عام ١٩٣٠ وذعروا عند اكتشافهم أن الغبار والغازات البينكوكبيّة قد أفسدت أكثر قياسات الأبعاد السابقة. وكلّ ما نستطيع أن نأمله هو أن لا يكون للموادّ التي لا ريب في وجودها في الفضاء بين الكوكبات الأثر ذاته في تقديراتنا الحاضرة.

وقد لفت زفيكي الأنظار إلى «أذرعة من المادّة» تصل بين كوكبات يبعد بعضها عن بعض (غير أنّها متجاورة



الشكل ٢٤ . ــ موادّ خارج الكوكبات.
موادّ مضيئة تقذفها كوكبة .

بالمعنى الواسع لهذه الكلمة) . وكان علماء الفلك قد أشاروا منذ عهد بعيد إلى وجود بعض « الجسور »، لكنّ زفيكي اكتشف مع مساعديه عدداً كبيراً منها بعد أن بحث عنها بحثاً دقيقاً على كليشيهات خارطة السماء الموجودة في مرصد جبل پالومار . فقد نشرت صور عديدة مدهشة فصّلناها هنا ببعض الرسوم (الاشكال ٢٤ أ، ب، ج) . وهذه «الجسور أو هذه «الخيوط »، كما يسمّيها زفيكي، عديدة ومعقّدة. وقد اشرنا إليها في كلامنا عن غيوم ماجلاّن حيث نعتقد أنّها موجودة.

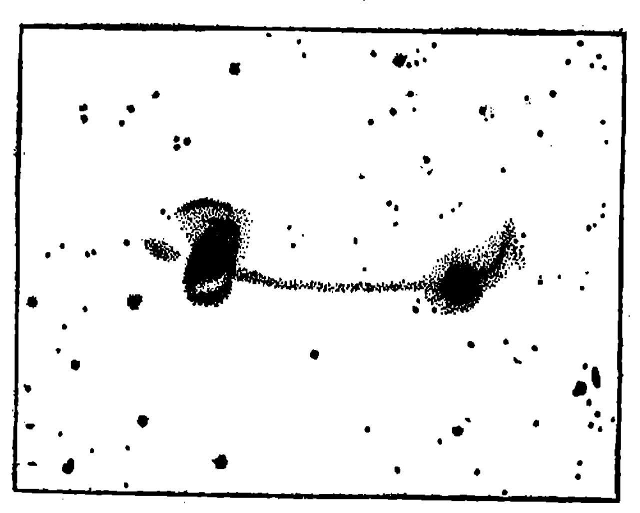


الشكل ٢٤ ب . — موادّ خارج الكوكبات (تابع) .
أذرعة من المادة تصل بين ثلاث كوكبات .

وهي في أكثر الأحيان كناية عن جسر مستقيم أو قوس بسيطة ممتدّة بين كوكبتين وناجمة عن تجاذبهما، فتمدّ كلّ

واحدة منها ذراعاً نحو الأخرى وتلتقي الذراعان وتلتحمان. لكنّ قانون المدّ والجزر يفرض أن يرافق كلّ امتداد امتداد آخر مقابل له في الطرف الآخر من الكوكبة. وفي الواقع، كثيراً ما يظهر على الصور الفوتوغرافيّة امتداد سائب ينطلق من « كلّ » كوكبة، في الجهة المقابلة للجسر الذي يصل بين الكوكبتين.

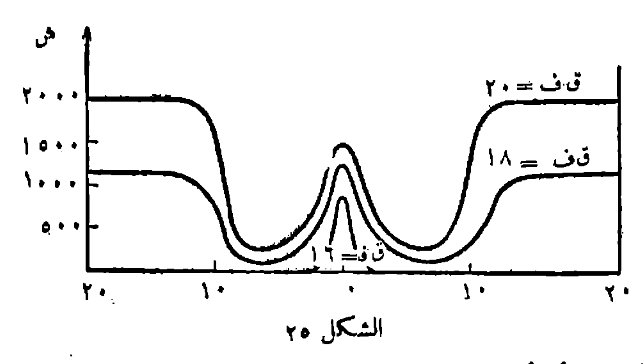
لكن هذه الجسور تخضع للحركات النسبيّة المختلفة لكل من الكوكبتين (كدورانها الخاص حول محورها وسرعتها الخاصّة في الفضاء). لذلك نلاحظ وجود جسور ملتوية تشكّل عُقداً وجسوراً معرّشة كريشة الطائر وجسوراً تمطّت إلى حدّ الانقسام.



الشكل ٢٤ ج. — موادّ خارج الكوكبات (تابع).
جسر ممتدّ بين كوكبتين وموادّ منتشرة في الجهة المقابلة.

ولبعض هذه الرباطات الماديّة طول يبلغ مليون سنة ضوئيّة . ويتمّ اكتشافها عندما تكون مشعّة أي مؤلّفة من كواكب . ولأكثرها لون أزرق وهي نجوم حارّة . غير أن لـ ١٠٪ منها لوناً يميل إلى الحمرة . ويعتقد زڤيكي أن من يمعن في البحث يستطيع العثور، في كل صورة شمسيّة مأخوذة بنظّارة سميت، على أكثر من عشرة أنظمة مزدوجة أو ثلاثيّة من هذا النوع .

وقد بيّن زڤيكي وجود « خلفيّة مشعّة متواصلة » في المناطق الوسطى للأكداس الكبرى من الكوكبات . وتتكوّن هذه الخلفيّة، بدون ريب، من مواد متفرّقة بين الكوكبات الجبّارة الموجودة في هذه الأكداس . ويمكن الاعتقاد بأنّنا أمام نجوم فارّة أو أمام اكداس فارّة من الكوكبات



الشكل ٢٥

الكبرى أو أمام كوكبات « قزمة » تشغل الفضاء بين الأجرام الكبيرة، ومن المرجّح أن تكون هذه الأنواع الثلاثة موجودة

معاً وتُسهم في تكوين الخلفيّة المشعّة . ويمكن أن نضيف إليها غازات وغباراً .

وعلى كلّ حال فالاصطدامات في الأكداس الكبرى تنقّي المجرّات من الغازات ويجب أن نعثر على هذه الغازات في الكدس (أو بين الأكداس ؟) .

ويميل علماء الفلك إلى الاعتقاد بأن الكدس الكبير ليس إلاّ «غيمة من الغبار» تبدو الكوكبات فيها ضعيفة اللمعان . وتفرض علينا أبعاد الفضاء الشاسعة الاعتقاد بأن كتلة المادّة «المنتشرة» في الكون تفوق مئات الأضعاف، بل آلاف الأضعاف، كتلة الكوكبات برمّتها . ويدل إحصاء الكوكبات على أن كثافة الكون لا تتعدّى ١٠ – ٣١ غرام في السنتمتر المكعّب (أي غرام واحد من المادّة في مكعّب يبلغ طول ضلعه ٢٠٠٠٠٠ كلم) .

غير أن تقديراتنا للكتلة ما تزال تقريبيّة، وهي من ناحية أُخرى لم تأخذ بعين الاعتبار المواد غير النيّرة الموجودة في الفضاء بين الكوكبات .

وتجدر الملاحظة، مع أينشتين، بأننا معرضون لأن ننسى شيئاً من المادة أو أن نجهله . فنحن لا نراعي إلا ما يبدو لنا لأوّل وهلة . فمن المرجّح أن تطور معارفنا سيقودنا إلى كثافة تفوق الكثافة التي ذكرناها .

الفصل السادس

الكوسمولوجيا

الكوسمولوجيا، في المعاجم، هي العلم الذي يدرس الكون الحالي والقوانين التي تسيّره والكوسموغونيا هي نظريّة نشأة الكون.

والتفريق في الواقع ظاهريّ أكثر ممّا هو حقيقيّ: فالملاحظة تظهر لنا نجوماً «فتيّة» (لا يتعدّى عمرها بضعة ملايين السنين) تكوّنت حديثاً في لولبات الكوكبات، ونجوماً «هرمة» يبلغ عمرها مليارات عدّة من السنين (ولنقل «خمسة» مليارات سنة). ومن ناحية أخرى، نرى الأنظمة ذات الاحجام الكبيرة ونرى أكداس الكوكبات في أعمار مختلفة. فتبدو لنا المجموعة المحليّة كما هي اليوم. أما أبعد الأكداس التي ندرسها الآن فتبدو لأنظارنا بالمظهر الذي كان مظهرها، لنقل، منذ مليار سنة وهذه الفترة لها أهميّتها في تطوّر الأنظمة النجميّة.

فعامل «المدّة» وعامل «التطوّر» متعلّقان بإدراكنا للكون تعلّقاً لا مفرّ منه.

والقضيّة التي لا جدال فيها هي أن الجزء المحيط بنا من الكون «يتطوّر» وأنّه يتطوّر بسرعة فائقة، في مدى مليار سنة.

فنجوم تولد ونجوم تنفجر ونجوم تتذبذب، وكلّ النجوم تضعف عن طريق بث الضوء والجسيمات. وتتكوّن مجموعات نجميّة أمام أعيننا، وتتفكّك مجموعات أُخرى وفقاً لنظام معلوم. ويفصل دوران الكوكبات مجموعات نجميّة محليّة ويمزج موادّها. والكوكبات ذاتها تبدّل شكلها وتتفكّك تحت تأثير قرب بعضها من بعضها الآخر، وتتصادم وتتداخل في أكداس تشكّل فيها مدارات واسعة. وتتّحد هذه الأكداس ذاتها وتدور متضامنة، وفي الوقت ذاته يبدو أن الكون بأسره يزداد حجماً ويشتّت موادّه بسرعة كبيرة. لكنّنا لم نتعرّف إلى هذه العوامل كلّها إلا منذ بضعة عقود. أمّا الفكرة السابقة عن الكون فكانت تقوم على بطء تطوّره. غير أن هذه الفكرة كانت تشكّل تقدّماً ملموساً بالنسبة إلى «الاستقرار» الذي كان يعتقد به الأقدمون.

غير أن علم الفلك النجميّ وثب في القرن التاسع عشر وثبة تأثّرت منها الافتراضات النظريّة. فمنهم من تصوّر فضاء لا نهاية له تتوزّع فيه النجوم بانتظام، وليست المجرّة سوى منطقة شاءت المصادفة أن تكون آهلة بالسكّان أكثر من سواها. وحصر غيرهم الكون في المجرّة وافترضوا عدم وجود «أي شيء» خارجاً عنها. وكانت هاتان النظريّتان ما تزالان قائمتين عام ١٩٢٠ وتناقشان مناقشة عنيفة النظريّة الثابتة اليوم والقائلة بفضاء تقطنه كوكبات (أو على الأصح أكداس من الكوكبات).

غير أن القضية التي تشغل علماء الفلك اليوم هي قضية شكل الكون. ومعلوم أن الإنسان بدأ باعتبار الأرض « مسطّحة » بجملتها، على الرغم من وجود الجبال والوديان على سطحها. ولكن ملاحظة الأشياء البعيدة في البحر وغير ذلك من الملاحظات حملت على اعتبار « انحناء » منتظم وأساسيّ في سطح الأرض. وهذا الانحناء يمكن تصوّره بقطع النظر عن الاختلافات الموضعيّة في الشكل. ومشكلة الشكل العام والبنية الهندسية للكون تبرز كما برزت مشكلة شكل الأرض.

فللكون، دون شكّ، بنية عامّة أكثر بساطة من الإطار الإقليديسيّ واللاّمتناهي حتما كما كان يُظنّ قبل أن توجد الهندسات اللاّإقليديسيّة.

لكنّ وجود هذه الهندسات أدخل الشك في العقول وجعل طرح المسألة أمراً لا مفرّ منه. وأصبح من الضروري النظر في جميع الاحتمالات الممكنة، ثمّ اختيار الحلّ المناسب الذي تفرضه الملاحظة.

لقد تصوَّر أينشتين كوناً « كرويّاً » مغلقاً ذا انحناء ثابتٍ تشبه كرويته كروية الأرض، وتصوّر الفلكي الهولندي ده سيتر كوناً منفتحاً يتمدّد، ولم يتوصل العلم بعد إلى تكوين صورة نهائية عن الكون. ومهما يكن من أمر، فقد أصبح عمر الكوسمولوجيا الحديثة خمسين عاماً. ويجعل منها إمكان اقتراح مثالات نظريّة للكون، والتنبّوء بالامتداد الذي تمّ

التحقّق منه، ونتائج هذا التمدّد (عمر الكون وولادة الهيليوم البدائي) ووجود (الإشعاع الحراريّ) التي أصبحت اليوم معروفة، إحدى الروائع التي حقّقها العلم. وقد اصطدم تاريخ هذه السنوات الخمسين بعقبات عدّة أهمّها أعمار الكواكب التي طالما وقفت حاجزاً في وجه «المعرفة النظريّة».

واليوم أصبحنا نبني على هذه الأعمار القسم الأكبر من اقتناعنا.

إنّنا لم نتغلّب بعد على جميع العقبات، ومن المستحبّ، أن تأتي أرصاد جديدة أكثر دقّة من الأرصاد السابقة، فتحدّد طبيعة المثال الذي يجب اختياره للكون. وما تزال أسئلة عدّة مطروحة وتنتظر الإجابة عنها.

و «من الناحية الفلسفيّة» أيضاً تعترضنا بعض الصعوبات. فمن الصعب مثلا التوفيق بين مفهوم لكون متجانس ونقل الإعلام (ذي السرعة المحدودة)، أو أن هذه القضيّة تثير على الأقلّ مشكلة فيزيائيّة: فكيف يمكن لجزئين من الكون تفصل بينهما مسافة ١٠ مليارات سنة ضوئيّة أن يتصرّفا، في آن واحد، تصرّفاً متماثلاً دون أن يتمكّنا من تبادل معلومات متزامنة؟ وأخيراً نستطيع أن نتساءل، عمّا إذا كانت القوانين الفيزيائيّة قد ظلّت على حالها في كون تغيّر تغيّراً كلّيّاً.

فهذه المشكلات، ستطرح حتماً عندما يختار الفلكيّون قيماً مرضيّة لثابتات فريدمن ومثالاً للكون. ومهما يكن

من أمر ، ليس أمام علم الفلك سبيل مفتوح إلاّ السبيل الذي يسير عليه الآن . ولا نأمل بالوصول إلى حلول أفضل من الحلول الحاضرة إلاّ بتحسين مراقبتنا لكلّ من العوامل التي تدخل الآن في حسابات معرفتنا النظريّة .

وعلى كلّ حال، يظلّ داعي اعتزازنا في أن جيلنا الحاضر شهد تأسيس الكوسمولوجيا العلميّة والخطوات الجبّارة التي سارتها في هذه المدّة القصيرة .

فهرس

صفحة